

Buku Panduan Guru **BIOLOGI**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
2022

SMA/MA KELAS XII

Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
Dilindungi Undang-Undang.

Penafian: Buku ini disiapkan oleh Pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel buku@kemdikbud.go.id diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

Buku Panduan Guru Biologi untuk SMA/MA Kelas XII

Penulis

Shilviani Dewi
Amalia Shari
Rani Elisa Purba
Remigius Gunawan Susilowarno

Penelaah

Endang Semiarti
Widi Purwianingsih

Penyelia/Penyelaras

Supriyatno
Lenny Puspita Ekawaty
Eko Budiono
Arifah Dinda Lestari

Kontributor

Budi Rahayu
Rika Maulida Sari

Ilustrator

Hasbi Yusuf

Editor

Dwi Pajar Ratriningsih
Arifah Dinda Lestari

Desainer

Sona Purwana

Penerbit

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Dikeluarkan oleh:

Pusat Perbukuan
Kompleks Kemdikbudristek Jalan RS. Fatmawati, Cipete, Jakarta Selatan
<https://buku.kemdikbud.go.id>

Cetakan pertama, 2022

ISBN 978-602-427-894-6 (no.jil.lengkap)
978-602-427-959-2 (jil.2)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif (Production Type/Principal design) 10 pts.
x, 254 hlm.: 176 mm x 250 mm.

Kata Pengantar

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka, dimana kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengembangkan potensi dan karakteristik yang dimiliki oleh peserta didik. Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah dengan mengembangkan buku teks utama.

Buku teks utama merupakan salah satu sumber belajar utama untuk digunakan pada satuan pendidikan. Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 56/M/2022 Tanggal 10 Februari 2022, serta Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka yang ditetapkan melalui Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 Tanggal 7 Juni 2022. Sajian buku dirancang dalam bentuk berbagai aktivitas pembelajaran untuk mencapai kompetensi dalam Capaian Pembelajaran tersebut. Buku ini digunakan pada satuan pendidikan pelaksana implementasi Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan serta perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Desember 2022

Kepala Pusat,

Supriyatno

NIP 196804051988121001

Prakata

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karuniaNya maka buku panduan guru Biologi Kelas XII ini dapat diselesaikan. Buku ini akan memberikan arahan kepada guru saat mendampingi peserta didik kelas XII jenjang SMA saat menggunakan Buku Siswa.

Buku panduan guru ini terdiri atas panduan umum dan panduan khusus. Panduan umum menjabarkan pendahuluan, Profil Pelajar Pancasila, capaian pembelajaran fase F yang harus dicapai oleh peserta didik kelas XII jenjang SMA, penjelasan fitur-fitur Buku Siswa, dan strategi atau metode pembelajaran secara umum yang dapat digunakan guru pada mata pelajaran ini. Adapun panduan khusus mendeskripsikan tujuan pembelajaran, skema mata pelajaran termasuk aktivitas pembelajaran, panduan pembelajaran, alternatif kegiatan, aplikasi konsep, refleksi, tindak lanjut, jenis penilaian, kunci jawaban, dan harapan kurikulum terhadap guru. Pada bagian akhir buku disajikan informasi tambahan berupa contoh ATP dan TP, deskripsi singkat Profil Pelajar Pancasila, dan contoh modul ajar untuk satu kali pertemuan. Keunggulan buku ini, yaitu isinya yang disesuaikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini dengan mengangkat isu global dan mengantisipasi kemungkinan kendala, permasalahan, serta miskonsepsi dalam proses pembelajaran. Selain itu, sistematika penulisannya yang terperinci diharapkan dapat membantu guru untuk memberikan peserta didik proses pembelajaran yang menyenangkan dan bermakna dalam konsep merdeka belajar.

Akhir kata, penulis berharap semoga buku ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan pendidikan di Indonesia. Penulis menantikan masukan dari pembaca untuk penyempurnaan isi buku di masa yang akan datang.

Jakarta, Juni 2022

Tim Penulis

● Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Prakata	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar	vii
Petunjuk Penggunaan Buku.....	ix
 Unit 1 Panduan Umum	 1
A. Pendahuluan	2
B. Penjelasan Profil Pelajar Pancasila	2
C. Karakteristik Mata Pelajaran Biologi	3
D. Capaian Pembelajaran.....	3
E. Strategi Umum Pembelajaran	5
F. Konten Bab pada Buku Siswa	5
 Unit 2 Panduan Khusus.....	 7
Bab 1 Metabolisme	9
A. Pendahuluan	10
B. Skema Mata Pelajaran	11
 Bab 2 Genetik dan Pewarisan Sifat	 53
A. Pendahuluan	54
B. Skema Mata Pelajaran	55
 Bab 3 Teori Evolusi	 113
A. Pendahuluan	114
B. Skema Pembelajaran	114
 Bab 4 Inovasi Bioteknologi.....	 161
A. Pendahuluan	162
B. Skema Mata Pelajaran	163

Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) dan Tujuan Pembelajaran (TP)	221
A. Konsep Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)	222
B. Konsep Tujuan Pembelajaran (TP)	222
C. Prinsip Penyusunan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)	223
D. Prosedur Penyusunan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)	224
Glosarium.....	239
Daftar Pustaka	243
Indeks.....	245
Profil Pelaku Perbukuan.....	247

-----● Daftar Gambar

Gambar 2.1	Kromosom <i>Drosophila melanogaster</i>	70
Gambar 2.2	Kromosom seks.	71
Gambar 2.2	Proses pembelahan sel secara mitosis.	91
Gambar 2.3	Pembelahan sel secara meiosis.	94
Gambar 4.1	Teknik bioremediasi pada IPAL.	170
Gambar 4.2	Teknologi tanaman transgenik.	170
Gambar 4.3	Teknologi hibridoma pada antibodi monoklonal.....	171
Gambar 4.4	Teknologi invitro pada sapi.....	171
Gambar 4.5	Produksi biogas.	172
Gambar 4.6	Pohon bioteknologi.	180
Gambar 4.7	Pohon kontribusi cabang ilmu bioteknologi pada proses pembuatan tempe.	181



Petunjuk Penggunaan Buku

Pada hakikatnya, Biologi mempelajari makhluk hidup dan variasi bioproses yang terjadi serta aplikasi teknologi untuk menghasilkan barang dan jasa. Melalui pembelajaran Biologi, kalian dilatih memecahkan masalah kehidupan sehari-hari guna menunjang pembangunan yang berkelanjutan melalui keterampilan proses.

Buku ini dirancang dengan berbagai aktivitas belajar yang akan mengasah kreativitas, berpikir kritis, mengembangkan keterampilan proses, bekerja sama, dan berkomunikasi untuk memecahkan masalah kehidupan sehari-hari untuk menunjang pembangunan yang berkelanjutan.

1 Kover bab

Berisi:

- ▶ gambar yang berkaitan dengan materi pada bab tersebut,
- ▶ pertanyaan pemantik.

2 Tujuan Pembelajaran

Berisi tujuan yang diharapkan tercapai, dimiliki, atau dikuasai setelah kalian mengikuti kegiatan pembelajaran setiap bab



Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, kalian akan diajak untuk dapat:

1. mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim.
2. menjelaskan mekanisme kerja enzim.
3. menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim.
4. menganalisis perbedaan anabolisme dan katabolisme.
5. menganalisis tahap-tahap respirasi aerobik.
6. menjelaskan proses fermentasi alkohol dan asam laktat.
7. menganalisis tahap-tahap reaksi terang dan gelap pada fotosintesis.
8. menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis pada tumbuhan.

1



3

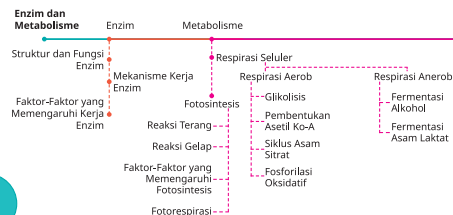
Kata Kunci

enzim, metabolisme, respirasi seluler, fotosintesis, fotorespirasi

3 Kata Kunci

Berisi kata-kata yang akan kalian alami pada uraian materi di setiap bab.

Peta Materi



4 Peta Materi

Berisi diagram alur materi pada setiap KD sehingga akan membantu kalian mengetahui hubungan antarkonsep yang dipelajari dalam bab tersebut.

4

5 Apersepsi

Berisi kejadian dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan materi pada bab tersebut dan ditampilkan di awal bab.

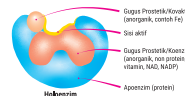


5

6

AKTIVITAS 1.1

- Bereksplorasi untuk Mengenal Enzim**
1. Buatlah kelompok beranggotakan 3–4 orang.
 2. Perhatikan gambar berikut.



6 Aktivitas

Berisi berbagai bentuk kegiatan yang dapat kalian lakukan, seperti pemerolehan dan penelaahan informasi dari artikel, pengamatan sederhana di lingkungan sekitar, menyimak video, dan praktikum sederhana.

7 Refleksi

Pada kegiatan ini, kalian diajak berpikir secara mendalam terkait materi yang sudah dipelajari dan mengidentifikasi kekurangannya, manfaat, serta sikap setelah mempelajari materi tersebut.

REFLEKSI

Untuk meninjau ulang keseluruhan proses pembelajaran, lakukan refleksi dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa sajakah yang sudah kalian kuasai pada pembelajaran ini?
2. Apa sajakah yang belum kalian kuasai pada pembelajaran ini?
3. Apakah yang menyebabkan kalian belum menguasai bagian tertentu pada pembelajaran ini?
4. Upaya apa yang akan kalian lakukan sebagai tindak lanjut terhadap materi yang sudah kalian kuasai?
5. Upaya yang akan kalian dilakukan untuk mengatasi bagian yang belum dikuasai pada pembelajaran ini?

7

8 Uji Kompetensi

Pada akhir bab, disajikan berbagai pertanyaan tentang materi pada bab tersebut. Pertanyaan-pertanyaan yang dimunculkan dalam berbagai bentuk dan tidak hanya untuk mengases pengetahuan tetapi juga keterampilan proses kalian serta melatih untuk terbiasa dengan soal AKM.

UJI KOMPETENSI

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

1. Pernyataan mengenai enzim berikut yang tidak tepat, yaitu
 - a. Enzim adalah protein yang berfungsi sebagai katalis.
 - b. Enzim bersifat spesifik terhadap substratnya.
 - c. Enzim menyediakan energi aktivasi untuk reaksi kimia.
 - d. Enzim dipengaruhi oleh faktor lingkungan.
 - e. Enzim dapat digunakan berkali-kali.
2. Holoenzim tersusun atas struktur
 - a. apoenzim dan inhibitor nonkompetitif
 - b. koenzim dan gugus prostetik

8

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)



Panduan Umum

-----● A. Pendahuluan

Buku Panduan Guru digunakan guru untuk memandu dalam menggunakan Buku Siswa, melaksanakan pembelajaran, dan sumber-sumber pendukung dalam proses pembelajaran. Terdapat dua unit dalam buku panduan guru, yaitu Panduan Umum dan Panduan Khusus.

Panduan Umum berisi penjelasan umum tentang Buku Siswa, sedangkan Panduan Khusus berisi penjelasan isi Buku Siswa secara spesifik pada setiap materi. Panduan Umum berisi lima bagian, yaitu 1) Pendahuluan, 2) Profil Pelajar Pancasila, 3) Capaian Pembelajaran Fase F yang harus dicapai oleh peserta didik SMA di kelas XII, 4) penjelasan fitur-fitur Buku Siswa, dan 5) strategi atau metode pembelajaran secara umum yang dapat digunakan guru pada mata pelajaran ini.

Panduan Khusus memuat empat hal terkait materi pada setiap bab di Buku Siswa. Pertama, gambaran umum bab yang mendeskripsikan tujuan pembelajaran, indikator pembelajaran, keterkaitan antarsubbab dan keterkaitan bab dengan bab lain. Kedua, skema pembelajaran yang memuat waktu, aktivitas pembelajaran, kata kunci, serta sumber belajar utama dan tambahan. Ketiga, panduan pembelajaran yang memuat tujuan pembelajaran spesifik, apersepsi, sarana, media, metode, sumber lain pembelajaran, konsepsi, kunci jawaban, contoh penilaian, dan tindak lanjut pembelajaran. Keempat, strategi komunikasi antara guru dan orang tua/wali peserta didik.

-----● B. Penjelasan Profil Pelajar Pancasila

Pembelajaran IPA di kelas XII dirancang untuk dapat mencapai Profil Pelajar Pancasila, yaitu pelajar sepanjang hayat yang memiliki kompetensi global dan berperilaku sesuai nilai-nilai Pancasila. Profil Pelajar Pancasila mengandung enam dimensi yang saling melengkapi satu dengan yang lainnya, yaitu 1) beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, 2) berkebhinekaan global, 3) bergotong royong, 4) kreatif, 5) bernalar kritis, dan 6) mandiri. Dari keenam dimensi Profil Pelajar Pancasila, dimensi yang secara langsung dapat tercapai selama proses pembelajaran IPA, yaitu bernalar kritis, kreatif, mandiri, dan bergotong royong. Adapun dimensi beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, dan berkebhinekaan global merupakan capaian yang secara tidak langsung dapat dicapai.

-----● C. Karakteristik Mata Pelajaran Biologi

Pada hakekatnya, Biologi mencakup produk dan proses. Produk yang dimaksud, yaitu pengetahuan tentang sains itu sendiri. Biologi berkaitan dengan makhluk hidup dan segala bioproses yang terjadi. Topik-topik yang dipelajari pada Biologi kelas XII merupakan materi yang berkaitan dengan permasalahan kehidupan untuk menunjang perbaikan kualitas hidup manusia serta pengetahuan yang bersifat kekinian untuk menarik minat dan kecintaan terhadap Biologi. Adapun proses mencakup keterampilan proses sains dalam mendapatkan pengetahuan itu sendiri. Melalui pembelajaran Biologi, peserta didik dilatih memecahkan masalah kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan materi Biologi. Hal ini penting untuk mempersiapkan peserta didik dalam menghadapi hidupnya di masa kini dan masa depan. Selama proses pembelajaran sains, peserta didik melakukan aktivitas kerja ilmiah sehingga akan berkembang keterampilan ilmiah, sikap ilmiah, dan Profil Pelajar Pancasila. Selain itu, pembelajaran Biologi di kelas XII jenjang SMA juga memberikan keterampilan dan pemahaman yang berguna dalam lingkup yang luas dan untuk pembelajaran selanjutnya di SMA di Perguruan Tinggi.

-----● D. Capaian Pembelajaran

Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan untuk responsif terhadap isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah. Kemampuan tersebut, antara lain mengamati, mempertanyakan dan memprediksi, merencanakan dan melakukan penelitian, memproses dan menganalisis data dan informasi, mengevaluasi dan merefleksi, serta mengomunikasikan dalam bentuk proyek sederhana atau simulasi visual menggunakan aplikasi teknologi yang tersedia terkait dengan metabolisme, pewarisan sifat, evolusi, bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari, dan pandemi akibat infeksi virus. Semua upaya tersebut diarahkan pada pencapaian tujuan pembangunan yang berkelanjutan (SDGs). Melalui pengembangan sejumlah pengetahuan tersebut dibangun pula akhlak mulia dan sikap ilmiah, seperti jujur, objektif, bernalar kritis, kreatif, mandiri, inovatif, bergotong royong, dan berkebhinekaan global.

Capaian Pembelajaran Tiap Elemen

Elemen Pemahaman Sains	
Pada akhir fase F, peserta didik memiliki kemampuan mendeskripsikan struktur sel serta bioproses yang terjadi seperti transpor membran dan pembelahan sel; menganalisis keterkaitan struktur organ pada sistem organ dengan fungsinya serta kelainan atau gangguan yang muncul pada sistem organ tersebut; memahami fungsi enzim dan mengenal proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh; serta memiliki kemampuan menerapkan konsep pewarisan sifat, pertumbuhan dan perkembangan, mengevaluasi gagasan baru mengenai evolusi, dan inovasi teknologi biologi.	
Elemen Keterampilan Proses	
Mengamati	Mampu memilih alat bantu yang tepat untuk melakukan pengukuran dan pengamatan. Memerhatikan detail yang relevan dari obyek yang diamati.
Mempertanyakan dan memprediksi	Merumuskan pertanyaan ilmiah dan hipotesis yang dapat diselidiki secara ilmiah.
Merencanakan dan melakukan penyelidikan	Merencanakan dan memilih metode yang sesuai berdasarkan referensi untuk mengumpulkan data yang dapat dipercaya, mempertimbangkan risiko serta isu-isu etik dalam penggunaan metode tersebut. Memilih dan menggunakan alat dan bahan, termasuk penggunaan teknologi digital yang sesuai untuk mengumpulkan serta mencatat data secara sistematis dan akurat.
Memproses, menganalisis data dan informasi	Menafsirkan informasi yang didapatkan dengan jujur dan bertanggung jawab. Menggunakan berbagai metode untuk menganalisa pola dan kecenderungan pada data. Mendeskripsikan hubungan antarvariabel serta mengidentifikasi inkonsistensi yang terjadi. Menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menarik kesimpulan yang konsisten dengan hasil penyelidikan.
Mengevaluasi dan refleksi. Mengevaluasi kesimpulan melalui perbandingan dengan teori yang ada.	Menunjukkan kelebihan dan kekurangan proses penyelidikan dan efeknya pada data. Menunjukkan permasalahan pada metodologi dan mengusulkan saran perbaikan untuk proses penyelidikan selanjutnya.
Mengomunikasikan hasil.	Mengomunikasikan hasil penyelidikan secara utuh termasuk di dalamnya pertimbangan keamanan, lingkungan, dan etika yang ditunjang dengan argumen, bahasa serta konvensi sains yang sesuai konteks penyelidikan. Menunjukkan pola berpikir sistematis sesuai format yang ditentukan.

-----● E. Strategi Umum Pembelajaran

Pembelajaran Biologi di kelas XII diajarkan dengan sistem blok. Bab 1 hingga bab 4 pada buku semuanya berupa materi pelajaran Biologi. Sekolah memiliki kewenangan melakukan pengaturan dan pemilihan strategi implementasi terkait pengaturan jadwal pelaksanaan untuk pembelajaran Biologi agar senergi dengan mata pelajaran lainnya. Secara umum, strategi yang dapat diterapkan dalam pembelajaran Biologi di kelas XII merupakan strategi yang dapat menstimulus, mengembangkan, dan memperkuat elemen dalam Fase F yang mencakup pengetahuan dan keterampilan proses, serta sikap ilmiah dan Profil Pelajar Pancasila. Untuk itu dalam setiap topik terdapat proyek yang harus dilakukan. Dengan demikian, pendekatan pembelajaran yang disarankan berupa pendekatan yang mendorong peserta didik aktif, misalnya pendekatan kontekstual dan saintifik dalam melaksanakan proses pembelajaran. Model pembelajaran yang digunakan merupakan model-model pembelajaran yang bukan hanya berorientasi pada penguasaan konsep, namun juga pengembangan keterampilan ilmiah dan sikap ilmiah, misalnya inkuiri, penemuan (*discovery*), dan pembelajaran berbasis masalah. Penugasan kepada peserta didik baik berupa latihan soal maupun proyek dirancang untuk melatih proses berpikir peserta didik. Dalam buku ini, peserta didik juga dilatih untuk melakukan refleksi terhadap proses dan capaian belajarnya agar dapat lebih meningkatkan capaian belajarnya.

-----● F. Konten Bab pada Buku Siswa

Materi pada Buku Siswa ditampilkan dalam bentuk teks dan gambar. Gambar-gambar yang ditampilkan mendukung konsep yang akan dipelajari peserta didik. Dengan adanya kombinasi ini, peserta didik diharapkan lebih tertarik dan menyenangkan belajar Biologi. Secara umum, ada lima fitur utama dalam Buku Siswa, yaitu:

1. Halaman judul yang berisi nomor dan judul bab, tujuan pembelajaran, dan kata kunci.
2. Bagian isi yang mencakup isi materi, aktivitas pembelajaran, dan intisari pembelajaran.
3. Refleksi yang mengajak peserta didik untuk melakukan refleksi terhadap proses belajarnya pada topik tersebut.
4. Penilaian yang mencakup berbagai bentuk penilaian dan juga mengarah pada soal-soal AKM.

5. Pengayaan untuk menambah wawasan dan pengetahuan peserta didik mengenai materi pada topik tersebut.

Setiap bab pada Buku Siswa memiliki beberapa fitur. Fitur-fitur ini membantu peserta didik dalam mencapai capaian pembelajaran pada Fase F. Fitur-fitur ini memiliki peran yang spesifik selama proses pembelajaran.



Tujuan Pembelajaran

Mencakup keseluruhan tujuan pembelajaran yang akan dicapai dalam bab tersebut.

AKTIVITAS

Fitur ini merupakan kegiatan yang harus dilakukan peserta didik, meliputi pemerolehan dan penelaahan informasi dari artikel, pengamatan sederhana di lingkungan sekitar, menyimak video, dan praktikum sederhana.

REFLEKSI

Kegiatan peserta didik untuk berpikir secara mendalam terkait materi yang sudah dipelajari dan mengidentifikasi kekurangannya, manfaat, dan sikap peserta didik setelah mempelajari materi tersebut.

UJI KOMPETENSI

Fitur ini merupakan tes pada akhir bab untuk menguji pemahaman peserta didik terhadap topik dan keterampilan prosesnya. Jenis soal yang diberikan beraneka ragam, termasuk soal *HOTS*.

PENGAYAAN

Pengayaan merupakan fitur akhir bab yang berisi informasi tambahan terkait materi yang sudah dipelajari. Pengayaan disajikan agar wawasan peserta didik bertambah tentang topik tersebut.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)

UNIT 2

Panduan Khusus

Panduan Khusus merupakan bagian dari Buku Panduan Guru yang membahas tentang penjelasan khusus setiap bab pada Buku Siswa. Secara rinci, Panduan Khusus berisi: 1) gambaran umum tentang bab pada Buku Siswa, 2) skema mata pelajaran, 3) panduan pembelajaran, 4) interaksi antara guru dengan orang tua atau wali, 5) refleksi untuk guru, dan 6) harapan kurikulum. Dengan demikian, Panduan Khusus ini akan memberikan gambaran kepada guru tentang cara menggunakan Buku Siswa pada masing-masing bab selama proses pembelajaran di kelas. Ada 4 bab pada pembelajaran Biologi untuk peserta didik kelas XII yang dibagi dalam 2 semester, yaitu semester pertama dan semester kedua. Pada semester pertama, peserta didik akan mempelajari 2 bab yang terdiri atas Bab 1 Enzim dan Metabolisme serta Bab 2 Genetika dan Pewarisan Sifat. Adapun pada semester kedua, peserta didik akan mempelajari 2 bab berikutnya, yaitu Bab 3 Evolusi dan Bab 4 Inovasi Bioteknologi.

Pada bagian akhir Unit 2 ini disajikan informasi tambahan untuk memperkaya wawasan guru dalam melaksanakan proses pembelajaran. Berikut informasi tambahan yang disajikan.

1. Kunci jawaban dari uji kompetensi pada setiap bab pada Buku Siswa. Konsep penyajian soal bervariasi yang melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS).
2. ATP dan TP
3. Deskripsi singkat Profil Pelajar Pancasila.
4. Contoh modul ajar salah satu bab untuk satu kali pertemuan.

Modul ajar ini terdiri atas berbagai komponen utama dan lampiran. Diharapkan guru dapat mengembangkan modul ajar sesuai kebutuhan peserta didik di sekolah masing-masing. Topik-topik pada Buku Siswa dapat diajarkan dengan sistem blok ataupun tidak, sesuai dengan kondisi sekolah masing-masing. Keseluruhan topik ini selalu dikaitkan dengan proyek sehingga peserta didik dapat mengembangkan keterampilan proses dan melatih keterampilan berpikir serta keterampilan proses.

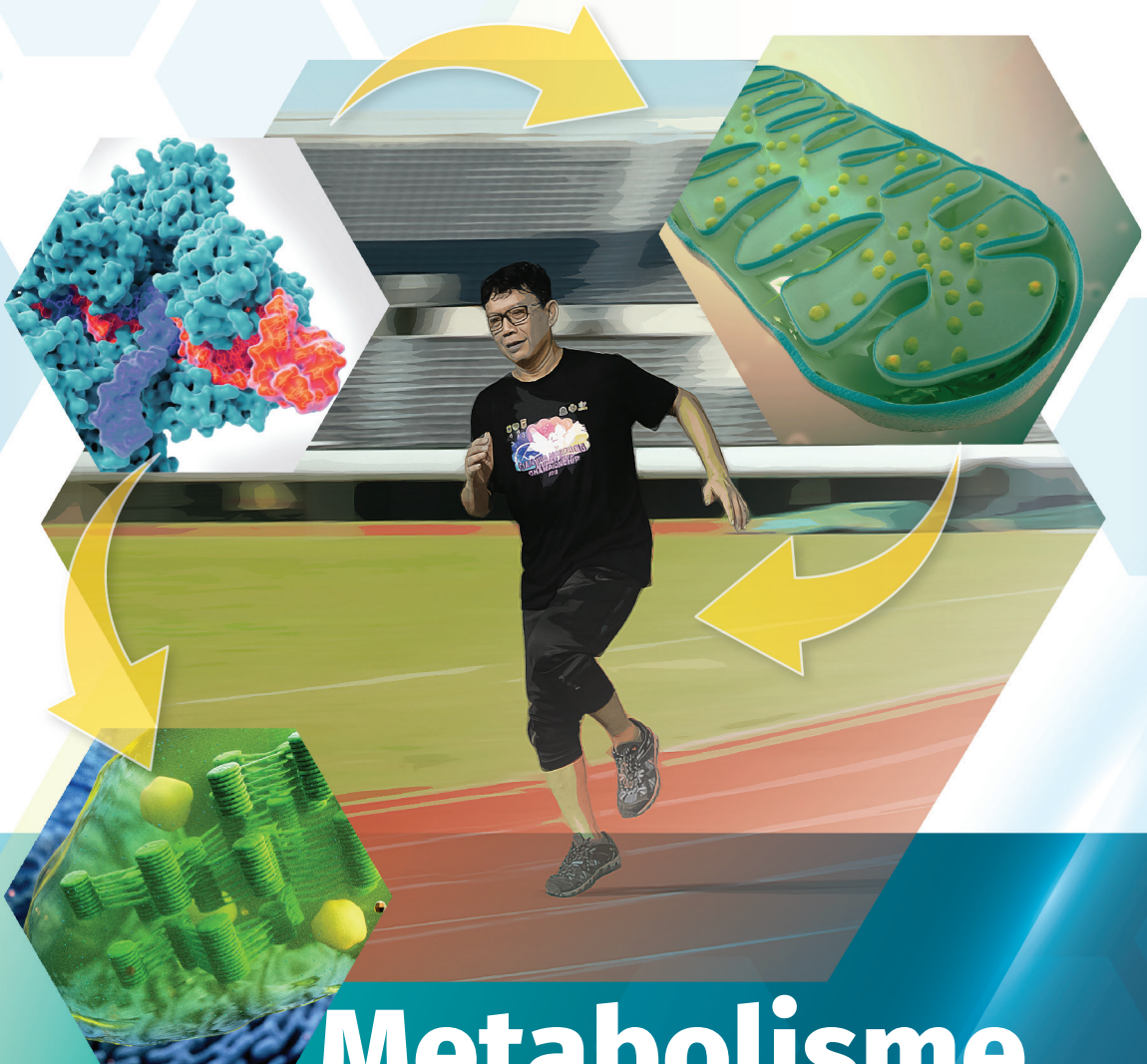
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA/MA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)

BAB 1



Metabolisme

● A. Pendahuluan

Pada pembelajaran mengenai enzim dan metabolisme, guru diharapkan melaksanakan pembelajaran yang memberdayakan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah, daya cipta, dan inovasi, kerjasama, serta komunikasi pada diri peserta didik sesuai dengan keterampilan abad 21 yang harus dimiliki peserta didik. Pembelajaran yang dilaksanakan tidak lagi berpusat pada guru tetapi berpusat pada peserta didik. Berikan kesempatan pada peserta didik untuk menggali pengetahuannya sendiri dengan melakukan observasi dan eksplorasi.

Tujuan pembelajaran pada materi metabolisme dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Setelah mempelajari struktur enzim melalui infografik, peserta didik dapat mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim dengan tepat.
2. Setelah melakukan studi literatur, peserta didik dapat menjelaskan mekanisme kerja enzim dengan tepat.
3. Setelah melakukan percobaan, peserta didik dapat menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim.
4. Setelah melakukan studi literatur, peserta didik dapat menganalisis perbedaan anabolisme dan katabolisme.
5. Setelah mengamati tahap respirasi melalui infografik dan menjawab pertanyaan dengan berdiskusi, peserta didik dapat menganalisis tahap-tahap respirasi aerob.
6. Setelah mengamati bagan fermentasi dan menjawab pertanyaan, peserta didik dapat menjelaskan proses fermentasi alkohol dan asam laktat.
7. Setelah mengamati infografik reaksi terang dan gelap serta menjawab pertanyaan, peserta didik dapat menganalisis tahap-tahap reaksi terang dan reaksi gelap pada fotosintesis.
8. Setelah melakukan percobaan, peserta didik dapat menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan fotorespirasi pada tumbuhan.

● B. Skema Mata Pelajaran

Subbab: A1. Struktur dan Sifat-sifatEnzim A2. Cara Kerja Enzim Alokasi waktu: 2 kali pertemuan, 4 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab mengingat kembali sistem pencernaan pada manusia	Macam enzim pencernaan	Buku siswa kelas XI bab Sistem Pencernaan.	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Melakukan eksplorasi infografik komponen enzim	Struktur enzim	Buku siswa kelas XII subbab Struktur Enzim	
Membaca informasi sifat-sifat enzim	Sifat enzim	Buku siswa kelas XII subbab Struktur dan Sifat Enzim	
Mencermati gambar kerja enzim katalase	Kerja enzim	Buku siswa kelas XII subbab Mekanisme Kerja Enzim	
Tidak lanjut: membuat video <i>stopmotion</i> kerja enzim			

Subbab: A3. Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab mengenai sifat enzim	Sifat enzim	Buku Siswa Kelas XII subbab Struktur dan Sifat Enzim	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Melakukan eksperimen pengaruh pH dan suhu pada kerja enzim katalase	Pengaruh pH dan suhu	Buku siswa kelas XII subbab Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim	
Mengamati data hasil eksperimen perbedaan konsentrasi enzim pada kecepatan reaksi	Pengaruh konsentrasi enzim	Buku siswa kelas XII subbab Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim	

Membaca pengaruh faktor berupa inhibitor	Pengaruh inhibitor	Buku siswa kelas XII subbab Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim	
--	--------------------	--	--

Subbab: B1. Anabolisme dan Katabolisme			
Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab peranan enzim dalam metabolisme terkait dengan energi aktivasi	Energi aktivasi	Buku siswa kelas XII subbab Mekanisme Kerja Enzim	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Mengerjakan aktivitas membedakan anabolisme dan katabolisme	Perbedaan anabolisme dan katabolisme	Buku siswa kelas XII subbab Anabolisme dan Katabolisme	
Tindak lanjut melalui aktivitas mengukur pemahaman dengan membuat tabel perbedaan anabolisme dan katabolisme			

Subbab: B2. Respirasi Seluler			
Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab fungsi mitokondria, reaksi kimia respirasi, dan tujuan respirasi	Respirasi	Buku siswa kelas XII subbab Respirasi Seluler	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Tanya jawab 4 tahapan respirasi aerob.			
Melakukan aktivitas eksplorasi infografik tahapan glikolisis	Glikolisis	Buku siswa kelas XII subbab Glikolisis	
Membaca proses glikolisis			

Melakukan aktivitas eksplorasi infografik tahapan dekarboksilasi oksidatif	Dekarboksilasi oksidatif	Buku siswa kelas XII subbab Dekarboksilasi Oksidatif	
Membaca proses dekarboksilasi oksidatif			
Melakukan aktivitas eksplorasi infografik tahapan siklus Krebs	Siklus Krebs	Buku siswa kelas XII subbab Siklus Krebs	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Membaca proses siklus Krebs			
Melakukan aktivitas eksplorasi infografik tahapan transpor elektron	Transpor elektron	Buku siswa kelas XII subbab Transpor Elektron	
Membaca proses transpor elektron			
Tindak lanjut uji pemahaman dengan aktivitas membuat tabel perbedaan tahapan respirasi sel	Tahapan respirasi	Buku siswa kelas XII subbab Tahapan Respirasi	

Subbab: B3. Fermentasi

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab proses pembuatan tape dikaitkan dengan fermentasi	Fermentasi	Buku siswa kelas XII subbab Respirasi Anaerob	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Melakukan aktivitas eksplorasi infografik fermentasi alkohol dan asam laktat	Fermentasi alkohol dan asam laktat		
Membaca proses fermentasi alkohol dan asam laktat			

Tindak lanjut uji kemampuan dengan aktivitas membuat tabel perbedaan respirasi aerob dengan anaerob	Respirasi aerob dan anaerob	Buku siswa kelas XII subbab Respirasi Aerob dan Respirasi Anaerob	
---	-----------------------------	---	--

Subbab: B4. Fotosintesis

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Tanya jawab struktur fungsi kloroplas dikaitkan fotosintesis	Kloroplas	Buku siswa kelas XII subbab Fotosintesis	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Membaca struktur kloroplas dan macam fotosistem di dalam klorofil	Fotosistem		
Melakukan aktivitas analisis infografik reaksi terang	Reaksi terang	Buku siswa kelas XII subbab Fotosintesis: Reaksi Terang	
Membaca analisis tahapan reaksi terang			
Melakukan aktivitas analisis infografik reaksi gelap	Reaksi gelap	Buku siswa kelas XII subbab Fotosintesis: Reaksi Gelap	
Membaca analisis tahapan reaksi gelap			
Tindak lanjut uji kemampuan dengan aktivitas membuat tabel perbedaan reaksi terang dan gelap	Reaksi terang dan gelap	Buku siswa kelas XII subbab Fotosintesis: Reaksi Terang dan Gelap	

Subbab 8: Faktor-faktor Fotosintesis Alokasi waktu: 1 kali pertemuan, 2 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Melakukan aktivitas percobaan faktor yang memengaruhi fotosintesis	Faktor yang memengaruhi fotosintesis	Buku siswa kelas XII subbab Faktor Fotosintesis	Hasil penelusuran sumber literasi digital
Membaca analisis faktor yang memengaruhi fotosintesis			
Membaca uraian tentang fotorespirasi dan tumbuhan C3, C4, dan CAM serta kemosintesis	Fotorespirasi	Buku siswa kelas XII subbab Fotorespirasi, Tumbuhan C3, C4, dan CAM	

Panduan Pembelajaran Bab I Enzim dan Metabolisme

Pertemuan Pertama

Subbab : Struktur dan Sifat Enzim

Alokasi waktu : 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim dengan benar melalui pengamatan gambar.
2. Peserta didik dapat menjelaskan mekanisme kerja enzim dengan tepat melalui pengamatan gambar.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari macam-macam enzim pada sistem pencernaan.
2. Peserta didik telah mempelajari sifat protein pada sistem pencernaan.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk mengingat kembali macam-macam enzim dan sifat protein pada sistem pencernaan.
2. Minta peserta didik membaca pengantar bab.
3. Tanyakan kepada peserta didik terkait gambar dan pengantar pada bab.
 - a. Apa nama enzim yang dihasilkan rongga mulut?
 - b. Apa fungsi enzim yang dihasilkan oleh kelenjar pada rongga mulut?
 - c. Coba ingat, senyawa apa yang digunakan untuk membentuk enzim?
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa enzim sebagai salah satu agen dalam setiap reaksi kimia dalam sel makhluk hidup. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada enzim pada sel hidup. Tekankan bahwa peranan enzim sangat penting dalam setiap reaksi kimia sel hidup yang membutuhkan energi untuk mendukung aktivitas kehidupan sel.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat tentang tempe yang lebih bergizi dibandingkan kedelai.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Jamur apa yang digunakan dalam pembuatan tempe?
 - b. Enzim apa yang dihasilkan jamur *Rhizopus* sp. dalam pembuatan tempe?
 - c. Apa fungsi enzim yang dihasilkan jamur *Rhizopus* sp. dalam pembuatan tempe?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa enzim sebagai salah satu agen dalam setiap reaksi kimia dalam sel makhluk hidup. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada enzim pada sel hidup. Tekankan bahwa peranan enzim sangat penting dalam setiap reaksi kimia sel hidup yang membutuhkan energi untuk mendukung aktivitas kehidupan sel.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik untuk menyampaikan hasil pengamatan gambar struktur enzim sesuai dengan petunjuk Aktivitas 1.1.
2. Minta peserta didik berdiskusi dan menjawab pertanyaan-pertanyaan pada Aktivitas 1.1 dengan mengaitkan materi sifat enzim. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan bahwa komponen enzim tersusun atas apoenzim dan gugus prostetik.
4. Ajak peserta didik mengingat macam-macam enzim dalam sistem pencernaan. Tekankan bahwa terdapat banyak macam enzim yang berguna untuk metabolisme dalam tubuh manusia.
5. Minta peserta didik untuk membaca subbab Sifat-sifat Enzim.
6. Minta peserta didik untuk mencermati gambar bagaimana enzim bekerja dan 2 hipotesis kerja enzim.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena hidup lebih sempurna dengan kehadiran enzim di dalam tubuh kita.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang pemanfaatan enzim dalam praktik kehidupan sehari-hari.
2. Tekankan bahwa jika ingin mengaplikasikan enzim pada berbagai bidang kehidupan perlu memerhatikan sifat-sifat enzim agar hasilnya menjadi optimal.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik membuat video *stop motion* tentang mekanisme kerja enzim dan mengunggahnya di media sosial.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik membaca dan berdiskusi sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.1

- a. Dua komponen utama penyusun enzim, yaitu apoenzim (protein) dan gugus prostetik (organik atau anorganik).
- b. Dua macam penyusun gugus prostetik pada enzim berupa koenzim (organik) dan kofaktor (anorganik).
- c. Senyawa yang menyusun bagian apoenzim berupa protein.
- d. Bagian dari enzim yang merupakan sisi aktif, yaitu apoenzim.
- e. Senyawa yang menyusun gugus prostetik atau disebut koenzim berupa senyawa organik non protein, seperti vitamin, NAD, FAD, dan NADP.
- f. Senyawa yang menyusun gugus prostetik atau disebut kofaktor berupa senyawa anorganik, seperti ion Fe, Mg, dan Mn.
- g. Komponen yang berperan sebagai sisi tidak aktif pada enzim gugus prostetik.

Aktivitas 1.2

Produk aktivitas ini berupa video *stop motion* yang dapat diunggah ke sosial media.

Pertemuan Kedua

Subbab : Faktor-faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/ 2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim dengan tepat melalui eksperimen dan diskusi.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari struktur dan sifat enzim.
2. Peserta didik telah mempelajari mekanisme kerja enzim

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali hasil diskusi tentang sifat protein yang kerjanya dipengaruhi lingkungan.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik mengenai sifat enzim yang tersusun atas protein.
 - a. Bagaimana kerja enzim jika bekerja di lingkungan asam, netral, dan basa?
 - b. Bagaimana kerja enzim jika pada suhu rendah, suhu kamar, dan suhu tinggi?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa kerja enzim dipengaruhi oleh banyak faktor dari lingkungan. Kemudian, ajak mereka membayangkan faktor apa sajakah yang memengaruhi kerja enzim. Tekankan bahwa dengan memahami faktor-faktor yang berpengaruh pada kerja enzim akan dapat mengaplikasikan pemanfaatan enzim secara tepat dan bermanfaat.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati gambar struktur enzim dan mekanisme kerja enzim.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.

- a. Apakah struktur utama penyusun bagian aktif dari enzim?
 - b. Bagaimana sifat-sifat senyawa protein penyusun bagian aktif dari enzim?
 - c. Apakah sifat enzim sama dengan sifat protein?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa kerja enzim dipengaruhi oleh banyak faktor dari lingkungan. Kemudian, ajak mereka membayangkan faktor apa sajakah yang memengaruhi kerja enzim. Tekankan bahwa dengan memahami faktor-faktor yang berpengaruh pada kerja enzim akan dapat mengaplikasikan pemanfaatan enzim secara tepat dan bermanfaat.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan eksperimen pengaruh pH dan suhu pada kerja enzim katalase sesuai dengan petunjuk Aktivitas 1.3.
2. Minta peserta didik berdiskusi data hasil eksperimen mengenai mengapa pH dan suhu dapat memengaruhi kerja enzim katalase. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan bahwa pH dan suhu terbukti berpengaruh pada kerja enzim.
4. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 1.4 tentang pengaruh konsentrasi terhadap kerja enzim dengan menganalisis data yang dipaparkan dengan cara menjawab pertanyaan yang tersedia. Tekankan bahwa perbedaan konsentrasi enzim terbukti berpengaruh pada kecepatan reaksi.
5. Minta peserta didik untuk membaca macam-macam inhibitor yang memengaruhi kinerja enzim.
6. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena hidup lebih sehat dan bugar dengan memahami dan mengaplikasikan faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang penerapan faktor pH dan suhu dalam proses pembuatan tempe sehingga enzim yang dihasilkan jamur *Rhizopus* sp. tidak rusak dan fermentasi dapat berlangsung secara normal.
2. Ajak peserta didik untuk membuat peta konsep tentang komponen, sifat, mekanisme, dan faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim dengan mempresentasikan dalam video yang diunggah di media sosial.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik membaca dan berdiskusi tentang informasi bagaimana mekanisme antibiotik penisilin yang bekerja sebagai inhibitor kompetitif enzim pembentuk dinding sel bakteri.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik membaca dan berdiskusi sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.3

pH

- a) Ekstrak hati yang ditambahkan HCl (tabung A) setelah ditambahkan H_2O_2 tidak terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati rusak pada pH asam sehingga tidak dapat menguraikan H_2O_2 menjadi air (gelembung) dan O_2 (nyala api). Bagian protein enzim yang rusak karena pH asam, yaitu gugus amin dari asam amino penyusun protein karena mengalami ionisasi.
- b) Ekstrak hati yang ditambahkan NaOH (tabung B) setelah ditambahkan H_2O_2 tidak terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati rusak pada pH basa sehingga tidak dapat menguraikan H_2O_2 menjadi air (gelembung) dan O_2 (nyala api). Bagian protein enzim yang rusak karena pH asam, yaitu gugus karboksil dari asam amino penyusun protein karena mengalami ionisasi.
- c) Ekstrak hati yang tidak ditambahkan NaOH dan HCl (tabung C) setelah ditambahkan H_2O_2 terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati pada pH netral dapat bekerja secara normal sehingga dapat menguraikan H_2O_2 menjadi air (gelembung) dan O_2 (nyala api)
- d) Gembung yang muncul pada tabung C merupakan hasil reaksi berupa air (H_2O). Adapun munculnya nyala api membuktikan adanya oksigen (O_2) sebagai hasil reaksi.

- e) Kesimpulan yang dapat dirumuskan, yaitu enzim katalase bekerja normal pada pH netral (7) dan rusak pada pH asam atau basa.

Suhu

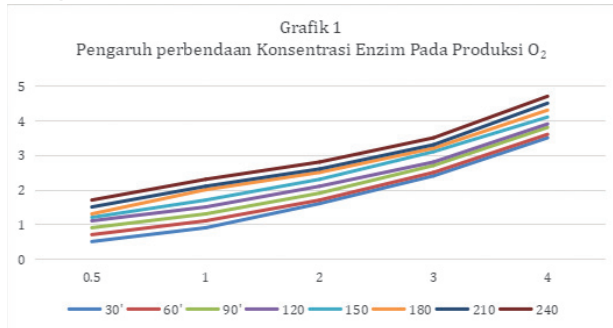
- Ekstrak hati yang ditambahkan es batu (tabung D) setelah ditambahkan H_2O_2 tidak terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati akan rusak pada suhu rendah. Bagian protein enzim yang rusak pada suhu rendah, yaitu ikatan peptida antar asam amino penyusun protein melipat atau mengalami koagulasi.
- Ekstrak hati yang ditambahkan air mendidih (tabung E) setelah ditambahkan H_2O_2 tidak terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati akan rusak pada suhu tinggi. Bagian protein enzim yang rusak pada suhu tinggi, yaitu ikatan peptida antar asam amino penyusun protein putus atau mengalami denaturasi.
- Ekstrak hati yang tidak ditambahkan es batu dan air mendidih (tabung F) setelah ditambahkan H_2O_2 terlihat munculnya gelembung dan nyala api karena enzim katalase pada ekstrak hati pada pH netral dapat bekerja secara normal sehingga dapat menguraikan H_2O_2 menjadi air (gelembung) dan O_2 (nyala api).
- Gelembung yang muncul pada tabung G merupakan hasil reaksi berupa air (H_2O). Adapun munculnya nyala api membuktikan adanya oksigen (O_2) sebagai hasil reaksi.
- Kesimpulan yang dapat dirumuskan, yaitu enzim katalase bekerja normal pada suhu kamar ($28 - 30^\circ C$) dan akan rusak pada suhu rendah dan suhu tinggi.

Aktivitas 1.4

- Berikut tabel hasil pengamatan percobaan perbedaan konsentrasi enzim katalase pada jumlah volume oksigen pada waktu yang berbeda.

Konsentrasi katalase (cm ³)	Gas Oksigen yang Dihasilkan pada Interval Waktu (detik)							
	30	60	90	120	150	180	210	240
0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7
1	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,1	2,3
2	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8
3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,1	3,2	3,3	3,5
4	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7

2. Berikut grafik yang menunjukkan volume gas yang dihasilkan oleh enzim dengan konsentrasi berbeda-beda berdasarkan tabel di atas.



3. Kesimpulan: perbedaan konsentrasi enzim pada jumlah substrat yang sama dapat meningkatkan kecepatan reaksi yang diindikasikan dari jumlah oksigen yang dihasilkan.

Pertemuan Ketiga

Subbab : Metabolisme (Anabolisme dan Katabolisme)

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis perbedaan anabolisme dan katabolisme dengan tepat melalui aktivitas dan diskusi.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari reaksi reduksi dan oksidasi (redoks).
2. Peserta didik telah mempelajari molekul organik dan anorganik.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali bahwa setiap aktivitas kehidupan membutuhkan energi.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik terkait energi untuk aktivitas kehidupan.

- a. Senyawa apakah yang menjadi sumber energi untuk aktivitas kehidupan?
 - b. Bagaimanakah proses untuk menghasilkan senyawa sebagai bahan dasar penghasil energi yang dapat digunakan untuk aktivitas kehidupan?
 - c. Melalui peristiwa apakah energi untuk aktivitas kehidupan dihasilkan?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa dalam kehidupan manusia terjadi proses pembentukan energi dari senyawa organik. Adapun senyawa organik disintesis dari senyawa anorganik. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada senyawa organik maupun anorganik akankah energi dapat ditransformasikan. Tekankan bahwa penyusunan bahan organik dan pemecahan bahan organik untuk menghasilkan energi dapat menjamin aktivitas kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengamati gambar orang yang sedang berolahraga atau mengangkat beban berat.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah aktivitas pada gambar membutuhkan energi?
 - b. Senyawa apakah yang menjadi sumber energi yang digunakan untuk aktivitas kehidupan?
 - c. Bagaimanakah proses untuk menghasilkan senyawa sebagai bahan dasar penghasil energi yang dapat digunakan untuk aktivitas kehidupan?
 - d. Melalui peristiwa apa energi untuk aktivitas kehidupan dihasilkan?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa dalam kehidupan manusia terjadi proses pembentukan energi dari senyawa organik yang disintesis dari senyawa anorganik. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada senyawa organik maupun anorganik, akankah energi dapat ditransformasikan. Tekankan bahwa penyusunan bahan organik dan pemecahan bahan organik untuk menghasilkan energi dapat menjamin aktivitas kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik untuk melakukan analisis reaksi kimia sesuai dengan petunjuk Aktivitas 1.5.

2. Minta peserta didik untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang tersedia pada Aktivitas 1.5 dalam diskusi kelompok.
3. Minta peserta didik untuk menuliskan hasil diskusi dari jawaban pertanyaan pada PowerPoint dan mempresentasikan di depan kelas. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Tekankan dasar anabolisme adalah proses pembentukan molekul organik dari molekul anorganik dengan membutuhkan energi. Adapun katabolisme adalah proses pemecahan molekul organik menjadi molekul anorganik dengan menghasilkan energi
5. Minta peserta didik untuk membaca subbab Anabolisme dan Katabolisme.
6. Tekankan pada peserta didik bahwa contoh anabolisme, yaitu fotosintesis dan kemosintesis. Adapun contoh katabolisme, yaitu respirasi dan fermentasi.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena memahami perbedaan anabolisme dan katabolisme.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang penerapan katabolisme pada pembuatan tape dan roti.
2. Tekankan bahwa fermentasi pada tape dan roti merupakan pemecahan bahan organik yang menghasilkan energi.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk mengerjakan Aktivitas 1.6 sebagai tugas kelompok yang dikerjakan pada akhir pelajaran.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan tabel perbedaan anabolisme dengan katabolisme pada Aktivitas 1.6 sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.5

- Reaksi kimia fotosintesis
- Energi cahaya (foton)
- Senyawa anorganik (CO_2 dan H_2O) menjadi senyawa organik kompleks (glukosa = $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
- Reaksi kimia respirasi
- Energi yang dihasilkan berupa energi kimia atau ATP
- Senyawa organik kompleks (glukosa = $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) menjadi senyawa anorganik ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)

Aktivitas 1.6

Berikut tabel perbedaan anabolisme dan katabolisme.

No.	Variabel Pembeda	Anabolisme	Katabolisme
1.	Bahan	Senyawa anorganik, yaitu H_2O dan CO_2	Senyawa organik, yaitu glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
2.	Energi	Membutuhkan energi yang bersumber pada cahaya, yaitu foton	Menghasilkan energi kimia berupa ATP
3.	Tempat berlangsungnya di dalam sel	Kloroplas	Mitokondria
4.	Oksigen	Menghasilkan oksigen	Membutuhkan oksigen
5.	Hasil	Senyawa organik kompleks berupa glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	Senyawa anorganik berupa H_2O dan CO_2

Pertemuan Keempat

Subbab : Tahapan Respirasi Aerob (Glikolisis dan DO)
Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis tahap-tahap respirasi aerob melalui pengamatan gambar dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari katabolisme.
2. Peserta didik telah mempelajari reaksi reduksi dan oksidasi.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali organel mitokondria terkait dengan struktur dan fungsinya.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Bioproses apa yang terjadi pada mitokondria?
 - b. Apa bahan, tahapan, dan hasil pada bioproses yang terjadi di mitokondria? Coba ingat kembali!
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa di mitokondria ada peristiwa oksidasi glukosa yang menghasilkan ATP yang disebut respirasi. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada bioproses respirasi pada sel. Tekankan bahwa respirasi sel dapat menghasilkan energi (ATP) untuk melakukan aktivitas kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengamati gambar/foto orang yang sedang melakukan aktivitas olahraga.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Untuk melakukan aktivitas olahraga seperti pada gambar, apakah dibutuhkan energi?
 - b. Jika ya, melalui peristiwa apa energi tersebut dihasilkan?
 - c. Coba diingat, apa bahan dan tahapan untuk menghasilkan energi di mitokondria?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa di mitokondria ada peristiwa oksidasi glukosa yang menghasilkan ATP yang disebut respirasi. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada bioproses respirasi pada sel. Tekankan bahwa respirasi sel dapat menghasilkan energi (ATP) untuk melakukan aktivitas kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik untuk membaca bagian pendahuluan tentang respirasi aerob. Lalu, mintalah peserta didik mendeskripsikan reaksi kimia respirasi, tujuan respirasi, struktur ATP, dan 4 tahapan respirasi.
2. Minta peserta didik untuk melakukan Aktivitas 1.7 dan 1.8 dengan menjawab pertanyaan melalui diskusi kelompok. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan dasar tentang bahan dasar respirasi pada setiap tahapan, juga hasil pada tahap glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif.
4. Minta peserta didik untuk mengerjakan laporan Aktivitas 1.7 dan 1.8, kemudian minta mereka untuk memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya.
5. Minta peserta didik untuk membaca subbab Respirasi Aerob bagian Glikolisis dan Dekarboksilasi Oksidatif.
6. Tekankan pada peserta didik bahwa tahapan glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif menghasilkan ATP dan NADH sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas kehidupan.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena proses kimia pada glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif dapat menyediakan energi bagi kehidupan.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang glikolisis berbahan dasar glukosa. Jika dalam darah kadar gulanya rendah maka kita akan merasa lemas dan mengantuk.
2. Tekankan bahwa melalui proses glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif, kita dapat melakukan aktivitas kehidupan.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk membaca tahapan respirasi selanjutnya, yaitu siklus Krebs dan transpor elektron.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik menemukan dan mengajukan saran terkait tahapan glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.7

- a. Substrat yang digunakan untuk reaksi kimia, yaitu glukosa.
- b. Tahapan utama pada reaksi kimia ada 2, yaitu investasi energi (glukosa menjadi 2 PGAL) dan pembentukan energi (2 PGAL menjadi 2 asam piruvat).
- c. Pada tahapan investasi energi terjadi pemecahan glukosa menjadi 2 PGAL yang membutuhkan 2 ATP.
- d. Pada tahapan pembentukan energi terjadi perubahan 2 PGAL menjadi 2 asam piruvat dengan menghasilkan 4 ATP dan 2 NADH.
- e. Jumlah energi (ATP) bersih yang dihasilkan pada tahapan reaksi sebesar 2 ATP.
- f. Enzim yang mengkatalisis pembentukan NADH, yaitu enzim dehidrogenase.
- g. Senyawa yang dihasilkan pada reaksi glikolisis, yaitu 2 asam piruvat, 2 ATP, dan 2 NADH.
- h. Berdasarkan reaksi kimia pada gambar, pengertian glikolisis adalah peristiwa pemecahan satu molekul glukosa (6 atom C) menjadi asam piruvat (3 atom C) yang berlangsung di sitosol sitoplasma dalam kondisi anaerob dengan hasil samping berupa 2 molekul NADH dan 2 molekul ATP.

Aktivitas 1.8

- a. Substrat yang digunakan untuk reaksi kimia pada gambar, yaitu 2 asam piruvat.
- b. Tahapan utama reaksi kimia pada gambar, yaitu pelepasan gugus karboksil dan penambahan KoA.
- c. Pada tahapan pelepasan gugus karboksil menghasilkan 2CO_2 .
- d. Pada tahapan penambahan KoA menghasilkan 2NADH_2 dan 2 asetil KoA.

- e. Enzim yang mengkatalisis pada pembentukan CO_2 dan NADH pada reaksi kimia dalam gambar berupa enzim dekarboksilase dan dehidrogenase.
- f. Senyawa yang dihasilkan pada reaksi kimia dalam gambar berupa 2 asetil KoA, 2 NADH, dan 2 CO_2 .
- g. Berdasarkan reaksi kimia pada gambar, pengertian dekarboksilasi oksidatif adalah peristiwa pelepasan gugus karboksil dari asam piruvat (2C_3) dan penambahan molekul KoA sehingga menghasilkan asetil KoA (2C_2) dalam suasana aerob yang berlangsung di membran krista mitokondria dengan hasil sampingan berupa 2CO_2 dan 2NADH .

Pertemuan Kelima

Subbab: Tahapan Respirasi Aerob (Siklus Krebs dan Transport Elektron)

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis tahap-tahap respirasi aerob melalui pengamatan gambar dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari glikolisis.
2. Peserta didik telah mempelajari dekarboksilasi oksidatif.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali proses glikolisis dan dekarboksilasi.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa hasil dari proses dekarboksilasi oksidatif?
 - b. Apakah senyawa hasil proses dekarboksilasi oksidatif digunakan untuk menjadi bahan dasar dalam siklus Krebs?

- c. Pada siklus Krebs, bahan dasar yang merupakan hasil dekarboksilasi oksidatif akan dipecah menjadi apa?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa pada proses dekarboksilasi oksidatif dihasilkan 2 asetil KoA yang selanjutnya akan menjadi bahan dasar siklus Krebs. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada bioproses respirasi pada sel. Tekankan bahwa respirasi sel dapat menghasilkan energi (ATP) untuk melakukan aktivitas kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali gambar proses dekarboksilasi oksidatif.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa hasil dari proses dekarboksilasi oksidatif?
 - b. Apakah senyawa hasil proses dekarboksilasi oksidatif digunakan untuk menjadi bahan dasar dalam siklus Krebs?
 - c. Pada siklus Krebs, bahan dasar yang merupakan hasil dekarboksilasi oksidatif akan dipecah menjadi apa?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa pada proses dekarboksilasi oksidatif dihasilkan 2 asetil KoA yang selanjutnya akan menjadi bahan dasar untuk siklus Krebs. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada bioproses respirasi pada sel. Tekankan bahwa respirasi sel dapat menghasilkan energi (ATP) untuk melakukan aktivitas kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik untuk melakukan Aktivitas 1.9 dan 1.10 dengan menjawab pertanyaan melalui diskusi kelompok. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
2. Tekankan dasar bahwa bahan dasar respirasi pada setiap tahapan merupakan hasil pada tahap siklus Krebs dan transpor elektron.
3. Minta peserta didik untuk membuat laporan berdasarkan Aktivitas 1.9 dan 1.10 untuk selanjutnya dipresentasikan di depan kelas.
4. Minta peserta didik untuk membaca subbab Respirasi Aerob bagian Siklus Krebs dan Transpor Elektron.
5. Tekankan pada peserta didik bahwa tahapan siklus Krebs menghasilkan ATP, NADH, dan FADH₂. Adapun transpor elektron menghasilkan ATP. Hasil

siklus Krebs dan transpor elektron tersebut digunakan sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas kehidupan.

6. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena proses kimia pada siklus Krebs dan transpor elektron dapat menyediakan energi bagi kehidupan.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang siklus Krebs berbahan dasar 2 asetil KoA. Jika asetil KoA tidak terbentuk maka energi yang dihasilkan sangat sedikit karena siklus Krebs dan transpor elektron tidak dapat berlangsung sehingga badan terasa lemas dan mengantuk.
2. Tekankan bahwa dengan adanya tahapan siklus Krebs dan transpor elektron kita dapat melakukan aktivitas kehidupan.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

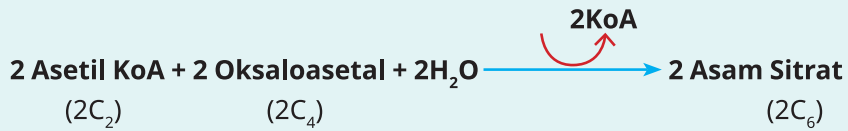
Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk mengerjakan Aktivitas 1.11 sebagai tugas individu yang dikerjakan di rumah.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan proyek pada Aktivitas 1.11 sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

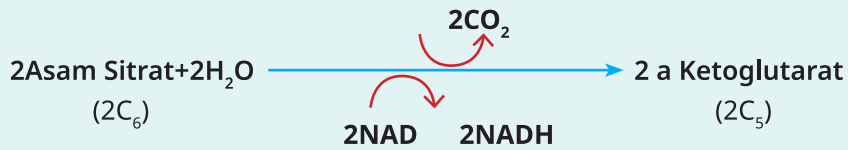
Kunci Jawaban

Aktivitas 1.9

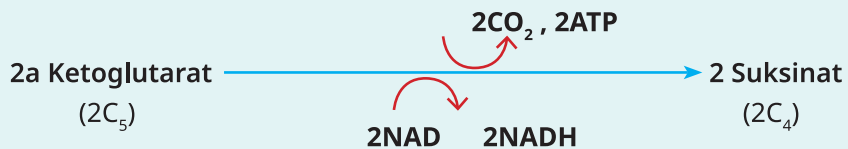
- a. Substrat yang digunakan untuk reaksi siklus Krebs, yaitu asetil KoA.
- b. Senyawa yang mengikat 2 asetil KoA pada saat memasuki siklus Krebs berupa 2 oksaloasetat.
- c. Tahapan utama pada reaksi siklus Krebs ada 5, yaitu:
 1. Pengikatan 2 asetil KoA oleh 2 oksaloasetat dengan penambahan $2H_2O$ untuk membentuk 2 asam sitrat. Pembentukan asam sitrat dikatalisis oleh enzim sitrat sintase.



2. Pelepasan satu ikatan karbon pada masing-masing asam sitrat setelah ada penambahan $2\text{H}_2\text{O}$ untuk membentuk 2 α ketoglutarat dengan melepaskan 2CO_2 dan 2NADH . Pembentukan 2CO_2 dikatalisis oleh enzim dekarboksilase dan pembentukan 2NADH_2 dikatalisis enzim dehydrogenase.



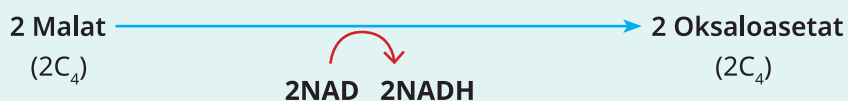
3. Pelepasan satu ikatan karbon pada masing-masing 2 α ketoglutarat untuk membentuk 2 suksinat dengan melepaskan 2CO_2 dan 2ATP serta 2NADH dan pembentukan 2NADH dikatalisis enzim dehydrogenase.



4. Perubahan 2 suksinat menjadi 2 malat setelah mengalami penambahan $2\text{H}_2\text{O}$ dengan menghasilkan FADH_2 . Pembentukan FADH_2 dikatalisis enzim dehydrogenase. FADH_2 merupakan koenzim (FAD^+ atau *flavo adenine dinucleotide*) yang mengikat elektron berenergi tinggi (H^{2+}) dan satu proton (e^-) dari hasil reaksi pembongkaran ikatan kimia antara karbon dengan hidrogen pada 2 suksinat.



5. Perubahan 2 malat menjadi 2 oksaloasetat melalui reaksi isomerase dengan menghasilkan 2NADH dan pembentukan 2NADH dikatalisis enzim dehydrogenase.



- d. Tahapan yang membutuhkan penambahan H_2O , yaitu pada reaksi 1, 2 dan 4.
- e. Tahapan yang menghasilkan ATP, yaitu pada reaksi 3.
- f. Tahapan yang menghasilkan NADH, yaitu pada reaksi 2, 3, dan 5.
- g. Tahapan yang menghasilkan $FADH_2$, yaitu pada reaksi 4.
- h. Enzim yang mengkatalisis pembentukan asam sitrat pada reaksi siklus Krebs, yaitu sitrat sintetase.
- i. Senyawa yang dihasilkan pada reaksi siklus Krebs, yaitu $4CO_2$, 2ATP, 6NADH, dan $FADH_2$.
- j. Siklus Krebs adalah peristiwa pemecahan 2 asetil KoA ($2C_2$) untuk menghasilkan $4CO_2$ ($4C_1$) dalam suasana anaerob yang berlangsung di matriks mitokondria dengan hasil sampingan berupa 2ATP, 6NADH dan $2FADH_2$.

Aktivitas 1.10

- a. Kompleks protein I pertama kali menerima elektron dari NADH.
- b. Kompleks protein I, III, dan IV dilalui oleh elektron dari NADH.
- c. Kompleks protein II pertama kali menerima elektron dari $FADH_2$.
- d. Kompleks protein III dan IV dilalui oleh elektron yang berasal dari $FADH_2$.
- e. Ketika elektron yang berasal dari NADH dan $FADH_2$ melalui kompleks protein, energinya menyebabkan perpindahan H^+ dari matriks mitokondria menuju ruang antarmembran. Hal ini menyebabkan konsentrasi H^+ di ruang antar membran lebih tinggi dibanding di dalam matriks mitokondria. Ion H^+ selanjutnya akan berpindah kembali ke matriks mitokondria dalam proses yang disebut kemiosmosis (perpindahan ion dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah). Perpindahan H^+ kembali ke matriks mitokondria, hanya dapat melalui ATP sintase. Ketika H^+ melalui ATP sintase, energi yang berasal dari aliran H^+ digunakan untuk membentuk ATP.
- f. Pada proses kemiosmosis, NADH dikonversi menjadi 3 ATP sedangkan $FADH_2$ dikonversi menjadi 2 ATP.
- g. Glikolisis menghasilkan 2 NADH, dekarboksilasi oksidatif menghasilkan 2 NADH, siklus asam sitrat menghasilkan 6 NADH dan 2 $FADH_2$. Terdapat 10 NADH dan 2 $FADH_2$ yang dihasilkan pada respirasi seluler.
- h. 34 ATP dihasilkan pada respirasi seluler.

- i. Zat yang terbentuk elektron diikat oleh oksigen adalah air melalui reaksi $2H + + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
- j. Transpor elektron adalah peristiwa konversi energi dari 10NADH dan 2FADH₂ yang berlangsung di membran krista mitokondria dalam suasana aerob dengan hasil utama 34 ATP dan hasil samping berupa 12H₂O.

Aktivitas 1.11

Berikut tabel perbedaan glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan transpor elektron.

No.	Variabel Pembeda	Glikolisis	Dekarboksilasi Oksidatif	Siklus Krebs	Transpor Elektron
1.	Bahan	Glukosa	2 asam piruvat	2 asetil KoA	10NADH ₂ , 2FADH ₂
2.	Tempat	Sitosol Sitoplasma	Membran krista	Matrik	Membran krista
3.	Suasana	Anaerob	Aerob	Anaerob	Aerob
4.	Enzim	Dehidrogenase	Dehidrogenase, dekarboksilase	Sitrat sintase, dehidrogenase, dekarboksilase	Enzim sitokrom C1, C, A, B, dan A3
5.	Hasil utama	2 asam piruvat	2 asetil KoA	4CO ₂	34 ATP
6.	Hasil sampingan	2 NADH, 2 ATP	2CO ₂ , 2 NADH	6 NADH, 2 FADH ₂	12H ₂ O

Pertemuan Keenam

Subbab : Respirasi Anaerob

Alokasi Waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menjelaskan proses fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat dengan benar melalui analisis gambar dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari tahapan respirasi aerob.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mencermati gambar tape dan roti.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Bahan utama apakah yang digunakan untuk membuat dua jenis makanan di gambar?
 - b. Melalui peristiwa apakah dua jenis makanan tersebut dihasilkan?
 - c. Bahan apakah yang perlu ditambahkan dalam pembuatan dua jenis makanan tersebut?
 - d. Apakah fungsi bahan tambahan dalam pembuatan dua jenis makanan tersebut?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa pada proses pembuatan tape dan roti melalui fermentasi. Kemudian, ajak mereka membayangkan jika tidak ada bioproses fermentasi maka kita tidak akan menikmati tape dan roti. Tekankan bahwa fermentasi dapat menghasilkan energi (ATP) dan produk yang berguna untuk kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali tahapan respirasi aerob.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah pada respirasi aerob membutuhkan oksigen untuk memecah glukosa menjadi energi?
 - b. Adakah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen? Jika ada apakah namanya?
 - c. Kapan dan dimanakah terjadinya respirasi yang tidak membutuhkan oksigen?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa pada proses respirasi tanpa oksigen diperlukan sel ketika membutuhkan energi dengan cepat. Kemudian, ajak mereka memikirkan dampak jika terjadi respirasi tanpa oksigen. Tekankan bahwa respirasi tanpa O_2 dapat menghasilkan energi (ATP) walaupun jumlahnya sedikit, tetapi tetap berguna untuk kehidupan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik untuk mencermati gambar dan menjawab pertanyaan-pertanyaan pada Aktivitas 1.12 melalui diskusi kelompok.
2. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Minta peserta didik untuk menuliskan hasil jawaban pertanyaan dalam bentuk PowerPoint.
4. Tekankan perbedaan tahapan dan hasil dari kedua jenis fermentasi pada gambar.
5. Minta peserta didik untuk membaca subbab Respirasi Anaerob.
6. Tekankan pada peserta didik bahwa fermentasi juga merupakan peristiwa metabolisme.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan bahwa dengan fermentasi kita dapat menikmati tape dan roti. Tekankan juga bahwa fermentasi dapat menghasilkan energi (ATP) dan produk yang berguna untuk kehidupan manusia.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang kualitas rasa tape dengan proses fermentasi yang ditutup sempurna dan yang tidak ditutup sempurna.
2. Tekankan bahwa penerapan teknologi fermentasi dapat meningkatkan kualitas produk tape.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk mengerjakan Aktivitas 1.12 sebagai penugasan lanjut tentang fermentasi.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan Aktivitas 1.12. sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.12

- Substrat yang digunakan untuk reaksi kimia gambar berupa glukosa.
- Kedua proses reaksi kimia pada gambar selalu melalui tahapan glikolisis.
- Tahapan setelah glikolisis pada reaksi (a), yaitu dekarboksilasi oksidatif yang membentuk etanol.
- Tahapan setelah glikolisis pada reaksi (b), yaitu reduksi asam piruvat yang membentuk asam laktat.
- Hasil akhir reaksi (a) berupa 2 etanol, 2 ATP, dan 2CO_2 .
- Hasil akhir reaksi (b) berupa 2 asam laktat dan 2 ATP.
- Perbedaan antara reaksi kimia pada gambar (a) dan (b) terletak pada hasilnya, yaitu reaksi (a) berupa 2 etanol, 2 ATP, dan 2CO_2 , sedangkan pada reaksi (b) berupa 2 asam laktat dan 2 ATP.
- Jenis fermentasi pada gambar (a) disebut fermentasi alkohol.
- Jenis fermentasi pada gambar (b) disebut fermentasi asam laktat.
- Fermentasi alkohol adalah pemecahan molekul organik (glukosa) yang berlangsung secara anaerob dengan menghasilkan 2 etanol, 2 ATP, dan 2CO_2 . Adapun fermentasi asam laktat adalah pemecahan molekul organik (glukosa) yang berlangsung secara anaerob dengan menghasilkan 2 asam laktat dan 2 ATP.

Aktivitas 1.13

Berikut tabel perbedaan respirasi aerob dan anaerob.

No.	Variabel Pembeda	Respirasi Aerob	Respirasi Anaerob
1.	Oksigen	Dibutuhkan	Tidak dibutuhkan
2.	Tahapan	4 tahap, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan transpor elektron	2 tahap, yaitu glikolisis dan dekarboksilasi nonoksidatif
3.	Tempat	Sitosol sitoplasma	Sitosol dan mitokondria
4.	Hasil sampingan	CO_2 dan H_2O	CO_2 dan etanol
5.	Hasil ATP	38 ATP	2 ATP

Pertemuan Ketujuh

Subbab : Fotosintesis

Alokasi Waktu : 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis tahap-tahap reaksi terang dan gelap pada fotosintesis dengan benar melalui analisis gambar dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari struktur fungsi kloroplas.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mencermati gambar struktur kloroplas.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa nama dua bagian utama di dalam kloroplas?
 - b. Sebutkan fungsi masing-masing bagian dari kloroplas?
 - c. Di kloroplas, klorofil berada pada bagian mana?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa dengan adanya klorofil di grana kloroplas maka cahaya yang digunakan untuk fotosintesis dapat ditangkap. Kemudian, ajak mereka membayangkan jika tidak ada klorofil maka tidak akan dihasilkan glukosa. Tekankan bahwa fotosintesis dapat menghasilkan glukosa yang dapat menjadi bahan makanan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

Alternatif 2 >>>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat reaksi kimia fotosintesis.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa bahan dasar fotosintesis?
 - b. Apa energi yang dibutuhkan untuk fotosintesis?
 - c. Fotosintesis berlangsung pada organel apa?
 - d. Apa senyawa yang dihasilkan dalam fotosintesis?

3. Ajak peserta didik berpikir bahwa dengan adanya klorofil di grana kloroplas maka cahaya yang digunakan untuk fotosintesis dapat ditangkap. Kemudian, ajak mereka membayangkan jika tidak ada klorofil maka tidak akan dihasilkan glukosa. Tekankan bahwa fotosintesis dapat menghasilkan glukosa yang dapat menjadi bahan makanan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik untuk membaca struktur fungsi kloroplas dikaitkan dengan macam jenis fotosistem.
2. Minta peserta didik untuk mencermati gambar dan menjawab pertanyaan-pertanyaan pada Aktivitas 1.14, 1.15, dan 1.16 melalui diskusi kelompok.
3. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Minta peserta didik untuk menuliskan hasil jawaban pertanyaan dalam bentuk PowerPoint.
5. Tekankan perbedaan tahapan dan hasil dari reaksi terang dan reaksi gelap pada gambar.
6. Minta peserta didik untuk membaca subbab Reaksi Terang dan Reaksi Gelap.
7. Tekankan pada peserta didik bahwa fotosintesis juga merupakan peristiwa metabolisme.
8. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan bahwa dengan fotosintesis kita dapat menikmati makanan. Tekankan bahwa fotosintesis dapat menghasilkan glukosa yang berguna untuk kehidupan manusia.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang kualitas glukosa hasil proses fotosintesis ditentukan oleh faktor apa saja.
2. Tekankan bahwa penerapan teknologi inovasi pada fotosintesis dapat meningkatkan kualitas glukosa.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk mengerjakan Aktivitas 1.17 sebagai penugasan lanjut tentang perbedaan reaksi terang dengan reaksi gelap.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan Aktivitas 1.17 sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.14

- a. Bahan utama reaksi terang, yaitu H_2O .
- b. Jenis energi yang digunakan untuk reaksi terang, yaitu foton.
- c. Tahapan utama pada reaksi terang ada 4, yaitu aktivasi klorofil, fotolisis, fotofosforilasi nonsiklik, dan fotofosforilasi siklik.
- d. Pada tahapan aktivasi klorofil, klorofil dari FS II (P680) menerima energi cahaya berupa foton yang menambah energi pada lintasan molekul klorofil sehingga menjadi teraktivasi. Teraktivasinya klorofil ini menyebabkan elektron-elektron kaya energi tereksitasi (dikeluarkan) dan berpindah melalui akseptor-akseptor elektron untuk dimanfaatkan energinya.
- e. Pada fotofosforilasi nonsiklik, elektron pada FS II yang tereksitasi berpindah menuju FS I melalui rantai transpor elektron yang tersusun atas plastokuinon (Pq), kompleks sitokrom, dan protein yang disebut plastosianin (Pc). Ketika elektron melalui sitokrom, energinya digunakan untuk membentuk ATP. Selanjutnya, elektron akan menuju dan masuk ke FS I (P700) dan menyebabkan adanya penambahan elektron pada FS I dan dengan terserapnya foton oleh FS I menyebabkan elektron pada FS I tereksitasi dan diterima akseptor feredoksin, kemudian ditransfer ke $2NADP^+$ dan bergabung ion $2H^+$ terbentuk $2NADPH$ (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate hydrogen*). Pada tahapan ini dikatalisis oleh enzim ferredoxin-NADP + reduktase yang berfungsi mereduksi NADP menjadi NADPH. Lintasan elektron berenergi tinggi yang berasal dari FS II menuju ke FS I dan berakhir di NADPH disebut fotofosforilasi nonsiklik.

- f. Pada tahapan fotolisis terjadi pemecahan H_2O menggunakan foton menjadi $1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. Elektron yang dihasilkan akan digunakan untuk menggantikan elektron pada FS II yang tereksitasi. Hasil samping fotolisis berupa O_2 yang dilepaskan ke udara.
- g. Hasil akhir pada reaksi terang berupa ATP, NADPH, dan O_2 .
- h. Tujuan reaksi terang untuk menyediakan energi kimia (ATP & NADPH) untuk reaksi gelap.

Kesimpulan:

Reaksi terang adalah proses transformasi energi cahaya (foton) menjadi energi kimia (ATP) melalui reaksi pemecahan molekul air yang menghasilkan O_2 yang berlangsung di grana dalam empat tahap reaksi, yaitu aktivasi klorofil, fotofosforilasi nonsiklik, fotofosforilasi siklik, dan fotolisis.

Aktivitas 1.15

- a. Pada fotofosforilasi siklik, elektron dari FS I akan diterima oleh feredoksin-sitokrom-plastosianin (Pc).
- b. Fotofosforilasi siklik menghasilkan ATP.
- c. Fotofosforilasi siklik hanya menghasilkan ATP, sedangkan fotofosforilasi nonsiklik dihasilkan ATP dan NADPH. Hal ini terjadi karena pada fotofosforilasi siklik, feredoksin tidak memberikan elektron pada NADP^+ melainkan mengembalikannya pada sitokrom.

Kesimpulan:

Fotofosforilasi siklik adalah lintasan transpor elektron yang hanya menghasilkan ATP dan hanya dengan menggunakan FS I.

Berikut tabel perbedaan fotofosforilasi siklik dan nonsiklik.

Faktor Pembeda	Fotofosforilasi Siklik	Fotofosforilasi Nonsiklik
Fotosistem yang terlibat	FS I	FS I dan FS 2
Produk yang dihasilkan	ATP	ATP dan NADPH

Aktivitas 1.16

- a. Bahan utama yang digunakan pada reaksi gelap berupa 6CO_2 .
- b. Senyawa yang berfungsi untuk memfiksasi CO_2 , yaitu RuBP.
- c. Reaksi gelap fotosintesis yang di stroma berlangsung dalam 4 tahap yaitu fiksasi, reduksi, sintesis, dan regenerasi.

- d. Pada tahap fiksasi karbon, enzim R_uBP karboksilase-oksigenase atau disebut **rubisco** mengkatalis pengikatan molekul 6CO₂ (6C₁) pada 6RuBP (6C₅). Proses ini menghasilkan molekul berkarbon tiga yang tidak stabil, yaitu asam phosphogliserat (12PGA).
- e. Pada tahap reduksi, 12PGA direduksi oleh 12 ATP dan 12 NADPH menjadi 12PGAL (*phospho gliseral adehida*).
- f. Pada tahap sintesis, senyawa 12PGAL akan terpecah menjadi 2PGAL dan 10PGAL. 2PGAL (2C₃) akan berikatan membentuk senyawa C₆H₁₂O₆ (C₆). Oleh karena terjadi pembentukan glukosa maka tahap ini disebut tahap sintesis.
- g. Pada tahap regenerasi, 10PGAL (10C₃) akan berubah bentuk menjadi 6RuBP (6C₅) lagi dengan bantuan 6 ATP, sehingga tahapan ini disebut regenerasi.
- h. ATP dimanfaatkan pada tahap reduksi dan regenerasi.
- i. NADPH dimanfaatkan pada tahap reduksi.
- j. Hasil akhir reaksi gelap berupa glukosa.
- k. Tujuan reaksi gelap, yaitu mensintesis glukosa.

Kesimpulan:

Reaksi gelap adalah proses sintesis glukosa dengan bantuan energi kimia (ATP) yang berlangsung di stroma dalam empat tahap reaksi, yaitu fiksasi, reduksi, sintesis, dan regenerasi.

Aktivitas 1.17

No.	Variabel Pembeda	Reaksi Terang	Reaksi Gelap
1.	Bahan	6H ₂ O	6CO ₂
2.	Tempat	Grana	Stroma
3.	Energi	Foton	ATP
4.	Tahapan	Aktivasi klorofil, fotofosforilasi nonsiklik, fotofosforilasi siklik, dan fotolisis	Fiksasi, reduksi, sintesis dan regenerasi
5.	Hasil	2ATP, 2NADPH, O ₂	Glukosa

Pertemuan Ke delapan

Subbab : Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis
Alokasi Waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan fotorespirasi pada tumbuhan dengan benar melalui eksperimen dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari tahapan reaksi terang dan reaksi gelap.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mencermati gambar reaksi terang.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa hasil akhir dari reaksi terang?
 - b. Apakah kalian tahu bahwa O_2 hasil reaksi terang dapat terlihat dalam gelembung udara?
 - c. Melalui bagian daun manakah, O_2 hasil reaksi terang dikeluarkan dari kloroplas?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa indikasi fotosintesis menghasilkan O_2 berupa gelembung udara yang keluar dari stomata daun yang terdapat di dalam air. Kemudian, ajak mereka membayangkan faktor apa sajakah yang memengaruhi jumlah O_2 pada fotosintesis.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali reaksi terang fotosintesis.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah hasil akhir dari reaksi terang?
 - b. Apakah kalian tahu bahwa O_2 hasil reaksi terang dapat terlihat dalam gelembung udara?

- c. Melalui bagian daun manakah, O_2 hasil reaksi terang dikeluarkan dari kloroplas?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa indikasi fotosintesis menghasilkan O_2 berupa gelembung udara yang keluar dari stomata daun yang terdapat di dalam air. Kemudian, ajak mereka membayangkan faktor apa sajakah yang memengaruhi jumlah O_2 pada fotosintesis.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik untuk melakukan eksperimen dan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang tersedia pada Aktivitas 1.18 melalui diskusi kelompok.
2. Perhatikan cara peserta didik melakukan eksperimen dan berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Minta peserta didik untuk menuliskan hasil jawaban pertanyaan dalam bentuk PowerPoint.
4. Tekankan kecenderungan hasil eksperimen untuk mengarahkan pada pengaruh cahaya, CO_2 , dan suhu pada kecepatan fotosintesis.
5. Minta peserta didik untuk membaca subbab Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis.
6. Tekankan pada peserta didik bahwa faktor cahaya, CO_2 , dan suhu mutlak menentukan keberlangsungan fotosintesis.
7. Minta peserta didik untuk membaca subbab Fotorespirasi serta Tumbuhan C_3 , C_4 , serta CAM.
8. Tekankan pada peserta didik bahwa fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan ada 3 variasi berdasarkan proses fiksasinya, yaitu fotosintesis pada tumbuhan C_3 , C_4 , dan CAM.
9. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan bahwa dengan kecepatan fotosintesis yang optimal akan menghasilkan glukosa dalam jumlah banyak. Tekankan bahwa fotosintesis dapat menghasilkan glukosa yang berguna untuk kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang hubungan kualitas cahaya, suhu dan kadar CO_2 pada kualitas glukosa hasil fotosintesis.

2. Tekankan bahwa penerapan teknologi inovasi pada fotosintesis dapat meningkatkan kualitas udara menjadi lebih segar karena dihasilkannya oksigen.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk membaca subbab Kemotransportasi.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik membaca sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 1.18

Pengaruh Cahaya

Contoh tabel hasil pengamatan pengaruh cahaya pada fotosintesis.

Ulangan Pengamatan	Jumlah Gelembung Udara		
	Gelap	Teduh	Terik Cahaya
1	0	12	62
2	0	13	60
3	0	14	64
Rerata	0	13	62

1. Di tempat gelap tidak muncul gelembung udara. Adapun di tempat teduh dan di tempat terik cahaya, muncul gelembung udara dengan jumlah gelembung udara paling banyak berada di tempat terik cahaya.
2. Gelembung udara yang muncul menunjukkan telah terjadi reaksi terang fotosintesis yang menghasilkan O_2 .
3. Peningkatan intensitas cahaya berpengaruh pada peningkatan kecepatan fotosintesis.

Pengaruh CO₂

Contoh tabel hasil pengamatan pengaruh konsentrasi CO₂ pada fotosintesis.

Ulangan Pengamatan	Jumlah Gelembung Udara		
	0 gram	2 gram NaHCO ₃	4 gram NaHCO ₃
1	50	80	112
2	52	82	110
3	51	84	114
Rerata	51	82	112

1. Jumlah gelembung udara pada perangkat percobaan yang ditambahkan NaHCO₃ lebih banyak dibandingkan yang tidak ditambahkan NaHCO₃.
2. Tujuan penambahan NaHCO₃ pada perangkat D dan E untuk menambah konsentrasi CO₂ di dalam air.
3. Perbedaan jumlah gelembung udara yang muncul pada perangkat yang ditambahkan 2 gram dan 4 gram NaHCO₃ menunjukkan perbedaan kecepatan peristiwa reaksi terang fotosintesis yang menghasilkan O₂.
4. Semakin tinggi konsentrasi CO₂ berpengaruh positif pada kecepatan fotosintesis.

Pengaruh Suhu

Contoh tabel hasil pengamatan pengaruh suhu pada fotosintesis.

Ulangan Pengamatan	Jumlah Gelembung Udara		
	10°C	28°C	70°C
1	0	50	1
2	1	52	1
3	2	51	1
Rerata	1	51	1

1. Jumlah gelembung udara pada perangkat percobaan yang berada di suhu rendah dan tinggi sangat sedikit dibandingkan di suhu kamar.
2. Tujuan mengondisikan perangkat pada suhu rendah dan suhu tinggi agar enzim reduktase yang bekerja pada reaksi terang menjadi tidak aktif atau rusak sehingga tidak dihasilkan O₂.
3. Fotosintesis dapat berjalan normal pada suhu kamar (28°C).

Pengujian O₂

Contoh tabel hasil pengamatan pengujian oksigen

Tinggi Ruang udara	Nyala Api
6 cm	Ada dan besar

1. Bara api pada lidi ketika dimasukkan pada ruang udara di dalam tabung reaksi menjadi menyala karena teroksidasi oleh O₂ hasil fotosintesis.
2. Fotosintesis terbukti menghasilkan O₂ yang dibuktikan gelembung udara pada ruang tabung dapat menghidupkan lidi membara menjadi api.

Pembuktian Amilum Hasil fotosintesis

Contoh tabel hasil pengamatan fotosintesis menghasilkan amilum

Daun Dibungkus	Daun Tak Dibungkus
Transparan	biru kehitaman

1. Daun yang dibungkus alumunium foil tidak berubah warna menjadi berwarna hitam kebiruan setelah dimasukkan larutan iodine karena daun tidak terkena cahaya sehingga tidak mengandung amilum sebagai hasil fotosintesis.
2. Daun yang tidak dibungkus alumunium foil berubah menjadi berwarna hitam kebiruan setelah dimasukkan larutan iodine karena daun terkena cahaya sehingga terjadi fotosintesis yang menghasilkan amilum.
3. Perubahan warna daun yang tidak dibungkus alumunium foil menjadi berwarna hitam kebiruan karena peristiwa reaksi antara amilum dengan iodine. Di mana iodine semula berwarna kuning setelah mengikat amilum berubah warna menjadi hitam kebiruan.
4. Fotosintesis menghasilkan amilum yang dapat dibuktikan dengan uji iodine dengan menghasilkan warna hitam kebiruan.

Kunci Jawaban Uji Kompetensi

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. C | 6. D | 11. C | 16. D |
| 2. C | 7. E | 12. E | 17. B |
| 3. C | 8. D | 13. A | 18. B |
| 4. B | 9. A | 14. C | 19. C |
| 5. A | 10. C | 15. E | 20. D |

Jenis Penilaian yang Dianjurkan pada Guru

Jenis	Bentuk	Teknik
Pengetahuan	Tes	Ayo Mengingat Kembali Aktivitas 1.1 Bereksplorasi Mengenal Enzim Aktivitas 1.4 Mengetahui Pengaruh Konsentrasi terhadap Kecepatan Reaksi Aktivitas 1.5 Menganalisis Proses Pembentukan dan Pemecahan Senyawa Organik Hasil Fotosintesis Aktivitas 1.6 Mengukur Tingkat Pemahaman Mengenai Anabolisme dan Katabolisme Aktivitas 1.7 Menganalisis Tahapan Glikolisis Aktivitas 1.8 Menganalisis Tahapan Dekarboksilasi Oksidatif Aktivitas 1.9 Menganalisis Tahapan Siklus Krebs Aktivitas 1.10 Menganalisis Tahapan Transpor Elektron Aktivitas 1.11 Mengukur Tingkat Pemahaman tentang Tahapan Respirasi Aerob Aktivitas 1.12 Menganalisis Tahapan Fermentasi Aktivitas 1.13 Mengukur Tingkat Pemahaman tentang Respirasi Aerob Aktivitas 1.14 Menganalisis mengenai Reaksi Terang Aktivitas 1.15 Menganalisis Mengenai Fosforilasi Siklik Aktivitas 1.16 Menganalisis Mengenai Reaksi Gelap Aktivitas 1.17 Mengukur Pemahaman mengenai Reaksi Terang dan Gelap pada Fotosintesis
	Nontes	Aktivitas 1.2 Memahami Teori Gembok dan Kunci dengan Teknologi
Keterampilan	Nontes	Proyek Aktivitas 1.3 Pengaruh pH dan Suhu terhadap Kerja Enzim Aktivitas 1.18 Mengetahui Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis
Sikap	Nontes	Observasi

Catatan:

Penilaian dalam tabel hanya salah satu alternatif. Guru dapat memodifikasi penilaian disesuaikan dengan kondisi masing-masing sekolah. Guru melakukan remedial bagi peserta didik yang tidak mencapai KKM. Remedial dapat dilakukan dengan pemberian tugas atau pembelajaran ulang yang diakhiri dengan tes. Tes remedial yang disusun disesuaikan dengan tujuan pembelajaran yang belum tuntas pada masing-masing peserta didik.

No.	Aspek		Skor	Bobot
1.	Perencanaan	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Pemilihan lokasi observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Pemilihan perlengkapan dan cara memperoleh data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Rancangan jadwal proses pelaksanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Pemilihan media presentasi.			
2.	Proses pelaksanaan proyek	4 poin terpenuhi	4	4
	a. Persiapan perlengkapan observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Persiapan pertanyaan teknik pengambilan data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kesesuaian data yang dicari dengan perencanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kerjasama kelompok.			
3.	Hasil produk presentasi	4 poin terpenuhi	4	3
	a. Media yang digunakan menarik.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Menampilkan gambar dan grafik.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kebenaran isi media presentasi.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kemudahan dalam memahami media presentasi.			
4	Presentasi	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Penggunaan bahasa yang baik dan benar.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Penyampaian yang mudah dipahami.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Penggunaan media yang menarik.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kekompakan tim.			

Interaksi Guru dengan Orang Tua atau Wali

Guru dapat memberikan informasi kepada orang tua terkait penugasan proyek yang diberikan kepada anaknya. Ketika peserta didik akan mengambil data ke laboratorium terdekat, berikan pemantauan untuk tetap melakukan protokol kesehatan. Khusus tugas untuk mencari informasi di internet, diharapkan orang tua juga ikut mengawasi. Selain itu, guru dapat menginformasikan hasil refleksi dan pencapaian peserta didik pada materi sebagai salah satu bentuk umpan balik di akhir bab.

Refleksi untuk Guru

Guru perlu melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilakukan pada bab ini untuk menemukan hal-hal yang menjadi kendala untuk diperbaiki pada pembelajaran selanjutnya. Guru juga perlu melakukan refleksi terhadap konsep-konsep yang sulit dipahami peserta didik dan cenderung menjadi miskonsepsi untuk dicatat dan ditekankan pada pembelajaran selanjutnya.

Harapan Kurikulum

Guru diharapkan lebih menekankan keterampilan proses dan pembentukan dimensi Profil Pelajar Pancasila selama proses pembelajaran, khususnya dimensi bergotong royong, kreatif, dan bernalar kritis. Proyek merupakan salah satu media dalam pengembangan keterampilan proses dan sikap ilmiah seperti objektif, jujur, kritis, dan terbuka sehingga perlu mendapat perhatian khusus. Pada akhir pembelajaran, guru diharapkan mampu menanamkan pentingnya protokol kesehatan, vaksinasi, dan hidup sehat.



*Bukanlah spesies yang paling kuat
atau paling cerdas yang mampu
survive, tapi mereka yang paling
mampu beradaptasi terhadap
perubahan.*

--Charles Darwin

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA/MA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)

BAB 2



Genetik dan Pewarisan Sifat

● A. Pendahuluan

Genetika dan pewarisan sifat merupakan topik kedua yang dipelajari peserta didik pada kelas XII jenjang SMA. Topik ini menggambarkan bagaimana sifat-sifat yang diwariskan orang tua kepada anaknya dapat terjadi dan peran materi genetik dalam proses pewarisan sifat. Topik ini akan berkaitan dengan Bab III dan IV. Kaitannya dengan Bab III Evolusi, yaitu adanya variasi genetik sangat berpengaruh dalam evolusi karena semakin besar variasi genetik dalam suatu populasi maka akan semakin besar pula peluang populasi tersebut untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Adapun kaitannya dengan Bab IV Bioteknologi, yaitu semakin pesatnya perkembangan ilmu biologi dan teknologi informasi dalam dasawarsa terakhir ini, terutama bioteknologi. Bioteknologi merupakan teknologi yang memanfaatkan agen hayati untuk peningkatan kesejahteraan manusia. Misalnya, untuk meningkatkan produk pertanian, peneliti memanfaatkan rekayasa genetika sehingga menghasilkan produk unggul yang diinginkan.

Pada topik ini, subbab disusun berjenjang berdasarkan pengetahuan prasyarat. Misalnya, peserta didik harus memahami terlebih dahulu materi genetik, seperti DNA, gen, dan kromosom. Selanjutnya, peserta didik memahami hubungan antara DNA, gen, dan kromosom, sebelum masuk ke pola dan mekanisme pewarisan sifat.

Setelah mempelajari Bab II tentang Genetika dan Pewarisan sifat, peserta didik diharapkan dapat:

1. menjelaskan komposisi dan struktur DNA, gen, dan kromosom.
2. mengkorelasikan antara DNA, gen, dan kromosom dalam pewarisan sifat.
3. menjelaskan tahap-tahap sintesis protein.
4. membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
5. menganalisis peran mitosis dan meiosis.
6. menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.
7. menganalisis pola-pola pewarisan sifat dalam makhluk hidup.
8. menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
9. menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.
10. menjelaskan peristiwa mutasi dan menganalisis sebab-sebab terjadinya mutasi.

● B. Skema Mata Pelajaran

Subbab: A. Materi Genetik

Alokasi waktu: 6 kali pertemuan (12 jam pelajaran)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Melakukan penelusuran video animasi mengenai materi genetik DNA, gen, dan kromosom.	Materi genetik (DNA, gen, dan kromosom)	Buku Siswa Aktivitas 2.1	Sumber video di Youtube yang relevan dengan struktur dan fungsi DNA, gen, dan kromosom.
Membuat model molekul DNA	Molekul DNA	Buku Siswa Aktivitas 2.2	Sumber video Youtube dan literatur ilmiah yang relevan tentang model molekul DNA.
Membaca artikel ilmiah mengenai pemeriksaan PCR/ <i>polymerase chain reaction</i> dan berdiskusi mengenai replikasi DNA	PCR/ <i>polymerase chain reaction</i> , replikasi DNA	Buku Siswa Aktivitas 2.3	Sumber bacaan yang relevan di internet tentang metode PCR.
Melakukan pengamatan bentuk kromosom lalat buah (<i>D. melanogaster</i>)	Bentuk kromosom	Buku Siswa Aktivitas 2.4	Sumber bacaan yang relevan mengenai bentuk kromosom.
Melakukan studi literatur dan diskusi mengenai jumlah kromosom setiap makhluk hidup yang bervariasi	Jumlah kromosom	Buku Siswa Aktivitas 2.5	Sumber bacaan yang relevan mengenai jumlah kromosom pada makhluk hidup.
Melakukan aktivitas menyusun karyotyping suatu individu	Jenis kromosom	Buku Siswa Aktivitas 2.6	Sumber bacaan yang relevan mengenai jenis kromosom pada makhluk hidup.
Berdiskusi mengenai pengaplikasian prinsip genetika dalam metode forensik	Sekuens rantai kode genetika	Buku Siswa Aktivitas 2.7	Sumber bacaan yang relevan mengenai metode forensik.

Subbab: B. Sintesis Protein**Alokasi waktu: 1 kali pertemuan (2 jam pelajaran)**

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Bermain peran tentang sintesis protein secara berkelompok	Sintesis protein	Buku Siswa Aktivitas 2.8	Sumber bacaan yang relevan mengenai tahapan sintesis protein dan sumber video Youtube proses sintesis protein.

Subbab: C. Pembelahan Sel**Alokasi waktu: 4 kali pertemuan (8 jam pelajaran)**

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Mencoba mengamati pembelahan mitosis pada akar bawang merah	Pembelahan mitosis	Buku Siswa Aktivitas 2.9	Sumber bacaan yang relevan mengenai pembelahan mitosis pada manusia, hewan, dan tumbuhan.
Melakukan penelusuran studi literatur mengenai cara tubuh untuk mengeliminasi sel-sel yang rusak	Siklus sel	Buku Siswa Aktivitas 2.10	Sumber bacaan yang relevan tentang cara tubuh mengeliminasi sel-sel yang rusak.
Membedakan gamet dan sel tubuh serta diskusi mengenai proses meiosis	Gamet, sel tubuh, dan meiosis	Buku Siswa Aktivitas 2.11	Sumber bacaan yang relevan tentang gamet, sel tubuh, dan meiosis
Diskusi mengenai perbedaan mitosis dan meiosis	Perbedaan mitosis dan meiosis	Buku Siswa Aktivitas 2.12	Sumber bacaan yang relevan mengenai mitosis dan meiosis

Subbab: D1. Pewarisan Sifat**Alokasi waktu: 3 kali pertemuan (6 jam pelajaran)**

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Mencocokkan kemiripan anak dan orang tuanya	Fenotip, pewarisan sifat	Buku Siswa Aktivitas 2.13	Sumber bacaan yang relevan di internet tentang pewarisan sifat.

Memecahkan soal mengenai persilangan monohibrid dan dihibrid dengan menerapkan konsep hukum mendel I dan II hingga mendapatkan hasil genotip maupun fenotip generasi 1 dan 2	Persilangan monohibrid dan dihibrid, (hukum Mendel I dan II)	Buku Siswa Aktivitas 2.14	Soal-soal di internet dan buku mengenai persilangan monohibrid dan dihibrid.
Mencari contoh sifat dominan dan resesif yang diwariskan	Sifat dominan dan resesif	Buku Siswa Aktivitas 2.15	Sumber bacaan yang relevan di internet mengenai sifat dominan dan resesif.

Subbab: D2. Penyimpangan Semu Hukum Mendel
Alokasi waktu: 5 kali pertemuan (10 jam pelajaran)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Mengamati kejadian alel majemuk pada diri sendiri dan mencari tahu penyebabnya melalui diskusi kelompok	Alel majemuk atau alel ganda	Buku Siswa Aktivitas 2.16	Sumber bacaan yang relevan di internet tentang sifat yang melibatkan alel majemuk/ganda.
Membuktikan dan menjelaskan bahwa peristiwa atavisme, kriptomeri, epistasis, hipostasis, dan komplementer merupakan penyimpangan semu hukum Mendel	Atavisme, kriptomeri, epistasis, hipostasis, dan komplementer	Buku Siswa Aktivitas 2.17	Sumber jurnal penelitian yang relevan di internet tentang atavisme, kriptomeri, epistasis, hipostasis, dan komplementer.
Mencari fakta unik terkait tipe penentuan jenis kelamin pada lebah madu	Penentuan jenis kelamin, kromosom X, kromosom Y	Buku Siswa Aktivitas 2.18	Sumber bacaan yang relevan di internet tentang penentuan jenis kelamin, khususnya pada lebah madu.

Subbab: D3. Mutasi
Alokasi waktu: 1 kali pertemuan (2 jam pelajaran)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Menelusuri salah satu kasus mutasi	Mutasi	Buku Siswa Aktivitas 2.19	Sumber bacaan yang relevan di internet tentang mutasi gen dan kromosom.

Panduan Pembelajaran Bab II Genetika dan Pewarisan Sifat

Pertemuan Pertama

Subbab : Materi Genetik
Alokasi waktu : 6 kali pertemuan/12 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menjelaskan struktur DNA, gen, dan kromosom.
2. Peserta didik dapat mendeskripsikan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari inti sel yang di dalamnya terkandung materi genetik pada bangku kelas XI.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik memerhatikan gambar cover bab dan gambar hasil persilangan anggrek *Vanda tricolor* dengan *Vanda limbata* asal NTB yang menghasilkan varietas baru.
2. Minta peserta didik membaca pendahuluan bab.
3. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik hal berikut.
 - a. Apa yang dimaksud dengan sifat?
 - b. Bagaimana mekanisme sifat tersebut diturunkan dari induk kepada keturunannya seperti pada gambar persilangan anggrek *Vanda tricolor* dengan *Vanda limbata*?
 - c. Apakah yang diturunkan dari induk kepada keturunannya tersebut?
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa sifat induk dapat diturunkan kepada keturunannya, seperti pada persilangan anggrek jantan dan betina pada Gambar 2.1. Lalu, ajak peserta didik mengenal materi yang diturunkan induk kepada keturunannya, yaitu materi genetik. DNA, gen, dan

kromosom merupakan materi genetik yang ada pada setiap makhluk hidup. Kemudian, ajak mereka membayangkan bahwa *resume* dari diri seseorang itu berada di dalam sel tepatnya pada materi genetik. Tekankan bahwa DNA, gen, dan kromosom merupakan materi genetik yang nantinya akan berperan dalam proses pewarisan sifat.

Alternatif 2 >>>>

1. Jelaskan peserta didik mengenai garis besar pembelajaran mengenai materi genetik.
2. Sampaikan tujuan yang ingin dicapai dari pembelajaran ini.
3. Arahkan peserta didik untuk memerhatikan gambar cover yang ada di depan buku.
4. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah melihat gambar tersebut sebelumnya?
 - b. Apakah yang timbul dari benak kalian ketika mencermati gambar tersebut?
5. Arahkan peserta didik berpikir bahwa salah satu materi genetik, yaitu DNA yang bertugas meregulasi karakteristik/sifat seseorang. Materi genetik lainnya, yaitu gen dan kromosom. Semua materi genetik akan membawa informasi yang dimiliki oleh sel makhluk hidup yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 2.1, yaitu menonton video di Youtube dengan kata kunci DNA, gen, dan kromosom.
2. Beri kesempatan beberapa peserta didik untuk mengemukakan ringkasan tentang DNA, gen, dan kromosom dari video yang telah mereka tonton.
3. Ajak peserta didik untuk berdiskusi untuk dapat menjawab pertanyaan yang terdapat pada aktivitas 2.1.
4. Beri kesempatan kepada semua peserta didik untuk mengeluarkan pendapatnya.
5. Minta peserta didik menyimpulkan hasil diskusi kelas terkait Aktivitas 2.1. Lalu, perkuat kesimpulan yang telah mereka buat.
6. Minta peserta didik mempersiapkan alat dan bahan pada Aktivitas 2.2 untuk pertemuan berikutnya.

Aplikasi Konsep

Tanyakan kepada peserta didik tentang pentingnya materi genetik dalam pewarisan sifat. Tekankan pada peserta didik bahwa materi genetik yang terdiri atas DNA, gen, dan kromosom penting untuk pewarisan sifat dari satu individu ke individu berikutnya.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal apa saja yang belum dipahami pada subbab Materi Genetik.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan pada peserta didik manfaat belajar pada subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik membuat sendiri gambar struktur DNA, gen, dan kromosom beserta penjelasannya.
2. Minta peserta didik mengunggah hasil gambar struktur DNA, gen, dan kromosom beserta penjelasannya ke media sosial yang mereka miliki.
3. Minta peserta didik lain untuk memberikan komentar dan masukan di kolom komentar.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.1

- a. DNA adalah materi genetik yang tersusun atas dua rantai polinukleotida antiparalel dan mengandung nukleotida yang terdiri atas deoksiribosa, gugus fosfat, dan pasangan basa yang mengandung nitrogen.
Gen adalah segmen DNA yang merupakan rangkaian nukleotida dengan urutan tertentu yang berperan dalam pewarisan sifat.
Kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang tersusun atas asam nukleat (DNA/RNA) dan protein atau kromosom merupakan totalitas gen di dalam sel yang membawa semua faktor keturunan untuk kehidupan sel.
- b. Struktur DNA adalah heliks ganda (*double helix*) atau terdiri atas dua rantai yang tersusun atas nukleotida atau ikatan antara fosfat, gula, dan basa nitrogen. Agar mudah mengingatnya, bayangkan bahwa DNA merupakan

sebuah tangga berpilin, pegangan, dan rangka tersebut terbuat dari gula fosfat sedangkan basa nitrogen merupakan anak tangganya.

Struktur gen tersusun atas rangkaian nukleotida dengan urutan tertentu. Gen prokariotik berbeda dengan eukariotik. Umumnya, Genom prokariotik hanya tersusun atas satu kromosom yang besar, terbentuk dari DNA untai ganda yang berbentuk sirkuler, berbeda dengan genom eukariotik yang memiliki beberapa kromosom linier.

Struktur kromosom: kromosom memiliki bagian berupa lengan dan sentromer. Satuan dasar kromatin yang melingkar disebut nukleosom. Nukleosom terdiri atas sebuah loop tunggal bahan DNA yang melilit protein histon.

- c. Fungsi DNA, gen, dan kromosom membawa materi genetik dari suatu generasi ke generasi berikutnya.

Kesimpulan:

DNA, gen, dan kromosom merupakan materi genetik atau faktor hereditas yang membawa informasi yang dimiliki setiap sel makhluk hidup yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

Pertemuan Kedua

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menjelaskan komposisi dan struktur DNA, gen, serta kromosom.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari tingkatan molekul yang ada pada bangku kelas X.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik melihat kembali Gambar 2.1, yaitu gambar persilangan bunga anggrek.
2. Ajaklah peserta didik untuk mengingat kembali mengenai penyebab kemiripan varietas baru hasil persilangan bunga anggrek jantan dan betina pada Gambar 2.1 tersebut.
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa sifat-sifat yang tampak atau fenotip ditentukan oleh kekhasan struktur gen yang disebut genotip. Gen merupakan bagian DNA yang mengekspresikan sifat tertentu sehingga menjadikan anak mirip dengan induknya. Sifat tersebut dapat berupa sifat yang tampak dan dapat diamati (fenotip) dan sifat yang tidak tampak (genotip). Adapun DNA merupakan bagian dari asam nukleat yang tersusun atas sejumlah molekul nukleotida.
4. Ajak peserta didik mengingat kembali Aktivitas 2.1 dan tanyakan kepada peserta didik mengenai struktur DNA yang masih mereka ingat.
5. Tekankan kepada peserta didik bahwa DNA merupakan suatu polimer nukleotida berupa rantai ganda berpilin (*double helix*) yang dibangun dari empat jenis monomer berbeda bernama nukleotida.
6. Ajak peserta didik untuk membaca terlebih dahulu mengenai nukleotida dan aturan perpasangan basa nitrogen pada buku siswa sehingga lebih mudah ketika melakukan Aktivitas 2.2.

7. Persilakan peserta didik untuk bertanya jika belum memahami mengenai nukleotida dan aturan perpasangan basa nitrogen.

Alternatif 2 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk mengingat kembali macam-macam materi genetik.
2. Minta peserta didik membaca pengantar bab.
3. Arahkan peserta didik untuk memerhatikan gambar sidik jari manusia atau sidik jari mereka masing-masing.
4. Minta peserta didik membaca pendahuluan bab.
5. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa yang dimaksud dengan sidik jari?
 - b. Apakah ada orang yang memiliki sidik jari yang sama?
 - c. Apa kaitannya materi genetik DNA dengan sidik jari?
6. Ajak peserta didik berpikir bahwa salah satu materi genetik, yaitu DNA bertugas mengatur juga karakteristik seseorang, termasuk di dalamnya sidik jari. Sebagaimana DNA, sidik jari pada masing-masing orang pun bersifat identik.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 2.2, yaitu membuat model molekul DNA sesuai petunjuk di buku siswa.
2. Ajak peserta didik berlatih merakit nukleotida dengan menerapkan aturan pasangan basa nitrogen ketika membuat model molekul DNA.
3. Minta peserta didik menampilkan hasil karya mereka dalam pembuatan molekul DNA sekaligus menjelaskan bentuk dan unit dasar penyusun DNA menggunakan model DNA yang mereka buat.
4. Minta peserta didik menunjukkan sekaligus menjelaskan bagian nukleotida dan aturan pasangan basa nitrogen pada model DNA yang mereka buat.
5. Dampingi peserta didik ketika mereka menampilkan dan menjelaskan hasil karyanya. Klarifikasi jika terdapat kesalahpahaman konsep. Tekankan bahwa DNA memiliki struktur heliks ganda (*double helix*) yang tersusun atas gula deoksiribosa, gugus fosfat, dan basa nitrogen (adenin, sitosin, guanin, dan timin).

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik untuk mengamati struktur DNA *double helix* yang sudah mereka buat, apakah peserta didik sudah dapat menyebutkan unit dasar penyusun DNA dan menentukan pasangan basa komplementer.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan peserta didik manfaat belajar pada subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik membuat video per kelompok mengenai penjelasan hasil karya molekul DNA dengan menjelaskan bentuk dan unit dasar penyusun DNA.
2. Minta peserta didik mengunggah video yang mereka buat ke Youtube atau Tiktok yang mereka punya.
3. Minta peserta didik lain memberikan komentar dan masukan di kolom komentar.
4. Minta peserta didik membaca fenomena sains tentang model molekul DNA oleh Watson dan Crick.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.2

Guru menunjukkan sebuah model DNA dan menjelaskan mengenai bentuk dan unit dasar penyusun DNA sebagai berikut.

DNA terdiri atas rangkaian nukleotida. Nukleotida merupakan satuan dasar yang terdiri atas gula yang disebut deoksiribosa, gugus fosfat, dan basa yang mengandung nitrogen. Adapun basa yang mengandung nitrogen di dalam DNA ada empat macam, yaitu adenin (A), sitosin (C), guanin (G), dan timin (T). Aturan perpasangan basa, yaitu adenin (A) selalu berpasangan dengan timin (T) dan sitosin (C) selalu berpasangan dengan guanin (G). Oleh sebab itu,

adenin dan timin disebut basa komplementer, begitu juga dengan sitosin dan guanin. Basa-basa komplementer tersebut dihubungkan oleh ikatan hidrogen.

Pertemuan Ketiga

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat mendeskripsikan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom.
2. Peserta didik dapat mengkorelasikan antara DNA, gen, dan kromosom dalam pewarisan sifat.
3. Peserta didik dapat menjelaskan tahap-tahap sintesis protein.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari materi genetika DNA, gen, dan kromosom pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali kejadian pandemi Covid-19. Lalu, ajukan pertanyaan mengenai metode apa saja yang digunakan untuk memastikan bahwa seseorang terjangkit Covid-19. Arahkan peserta didik menjawabnya dengan metode tes PCR (*polymerase chain reaction*).
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah tes PCR ketika pandemi Covid-19?
 - b. Apakah kalian tahu prinsip tes PCR?
3. Ajak peserta didik mengemukakan apa saja yang mereka ketahui mengenai PCR.
4. Tekankan kepada peserta didik bahwa ada tahapan tes PCR yang mirip dengan proses yang ada di dalam tubuh kita, yaitu proses replikasi.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali mengenai struktur DNA.
2. Tampilkan gambar atau video mengenai proses tes PCR dan replikasi DNA.
3. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah tes PCR ketika pandemi Covid-19?
 - b. Apakah kalian tahu prinsip tes PCR?
4. Ajak peserta didik mengemukakan apa saja yang mereka ketahui mengenai PCR.
5. Ajak peserta didik bahwa ada tahapan tes PCR yang mirip dengan proses yang ada di dalam tubuh kita, yaitu proses replikasi.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik melakukan Aktivitas 2.3, yaitu penelusuran studi literatur mengenai metode PCR (*polymerase chain reaction*). Selanjutnya, minta peserta didik membandingkan proses replikasi yang terjadi pada PCR dengan proses replikasi pada sel tubuh.
2. Minta peserta didik membuat kesimpulan dan membacakannya di depan kelas.
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa materi genetik dapat dideteksi dan diidentifikasi melalui metode pemeriksaan di laboratorium, contohnya PCR. Tekankan bahwa metode PCR merupakan salah satu pemeriksaan laboratorium untuk mendeteksi keberadaan materi genetik pada makhluk hidup. Misalnya, ketika pandemi PCR digunakan untuk mendeteksi virus Covid-19.
4. Minta peserta didik membaca mengenai replikasi DNA pada buku siswa.
5. Minta peserta didik membaca mengenai pengaturan dan pengemasan DNA di dalam sel.

— Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati proses replikasi DNA dan pengemasan DNA di dalam sel.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan peserta didik manfaat belajar pada subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Minta peserta didik menonton video melalui Youtube mengenai replikasi DNA dan pengemasan DNA di dalam sel.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.3

1. Mekanisme atau langkah kerja PCR melewati 3 tahap berikut.
 - a. *Denaturation*/denaturasi (96°C): pada proses denaturasi, panas memengaruhi *strand* DNA sehingga DNA akan terpisah menjadi DNA beruntai tunggal (*single-stranded*).
 - b. *Annealing*/penempelan (55-65°C): pada tahap penempelan ini, suhu *annealing* primer akan menempel dan berikatan pada daerah komplementer pada sekuen *single-stranded* DNA.
 - c. *Extension*/elongasi (72°C): pada suhu ini, Taq polimerase melakukan pemanjangan membentuk *strand* DNA baru.
2. Seperti dalam proses replikasi DNA pada organisme hidup, teknik PCR juga membutuhkan enzim DNA polimerase yang bertugas membuat kopian *strand* DNA baru menggunakan *stand* DNA yang sudah ada sebagai *template*, sehingga jumlah molekul DNA kira-kira bisa berlipat ganda dalam setiap putaran siklus dalam PCR.

Pertemuan Keempat

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menjelaskan komposisi dan struktur DNA, gen, dan kromosom.
2. Peserta didik dapat mendeskripsikan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari materi genetika DNA, gen, dan kromosom pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali Aktivitas 2.1 dan tanyakan hal berikut.
 - a. Apa itu kromosom?
 - b. Apakah kromosom dapat dilihat langsung dengan mata telanjang?
2. Tekankan bahwa kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang tersusun atas asam nukleat (DNA/RNA) dan protein, di mana terdapat informasi genetik yang tersimpan di dalam inti sel. Kromosom dapat dilihat saat sel sedang mengalami pembelahan. Pada saat pembelahan sel, kromosom tampak sebagai benang-benang yang menebal. Ternyata, ada juga kromosom raksasa/politen yang dapat dilihat hanya menggunakan mikroskop cahaya.
3. Ajak peserta didik membaca materi mengenai kromosom di buku siswa.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali mengenai struktur kromosom.
2. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik mengenai apa itu kromosom?
3. Perlihatkan gambar kromosom kepada peserta didik. Kemudian, bersama dengan peserta didik menjawab pertanyaan apa itu kromosom.

4. Ajak peserta didik membaca materi mengenai kromosom di Buku Siswa.
5. Tekankan bahwa kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang tersusun atas asam nukleat (DNA/RNA) dan protein, di mana terdapat informasi genetik yang tersimpan di dalam inti sel. Kromosom dapat dilihat saat sel sedang mengalami pembelahan. Pada saat pembelahan sel, kromosom tampak sebagai benang-benang yang menebal. Ternyata, ada juga kromosom raksasa/politen yang dapat dilihat hanya menggunakan mikroskop cahaya.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 2.4, yaitu pengamatan bentuk kromosom lalat buah (*D. melanogaster*).
2. Beri kesempatan peserta didik berdiskusi bersama kelompok dan membuat kesimpulan dari hasil pengamatan dari Aktivitas 2.4.
3. Minta peserta didik mengemukakan hasil pengamatan dari Aktivitas 2.4.

— Aplikasi Konsep

Tanyakan kepada peserta didik tentang pentingnya kromosom dalam membawa sifat pada keturunannya. Tekankan pada peserta didik bahwa materi genetik kromosom yang terdapat di dalam inti sel berbentuk sangat kecil dan sebagian besar hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Namun, ada kromosom raksasa atau politen yang dapat dilihat menggunakan mikroskop cahaya. Contohnya, kromosom pada lalat buah.

/// Refleksi Pembelajaran ///

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab materi ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab materi ini.
3. Tekankan pada peserta didik mengenai manfaat belajar pada subbab materi ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik membuat laporan dari hasil pengamatan Aktivitas 2.4.
2. Minta peserta didik membaca materi mengenai bagian kromosom dan struktur kromosom pada buku siswa.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.4

Berikut contoh gambar bentuk kromosom lalat buah.



Gambar 2.1 Kromosom *Drosophila melanogaster*.

Sumber: Kathleen M. Beckingham dkk. (2005)

Apabila Aktivitas 2.4 ini sulit untuk dilakukan, guru dapat memperlihatkan gambar kromosom kelenjar ludah chironomus atau kromosom lalat buah.

Pertemuan Kelima

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menjelaskan komposisi dan struktur DNA, gen, dan kromosom.
2. Peserta didik dapat mendeskripsikan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom.

Pengetahuan Prasyarat

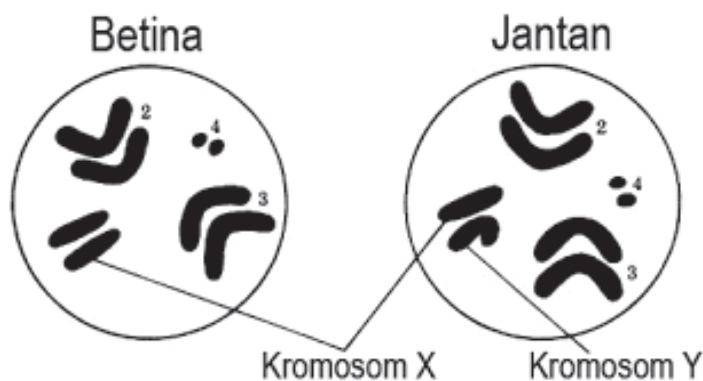
Peserta didik telah mempelajari materi genetika DNA, gen, dan kromosom pada sub bab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali hasil pengamatan bentuk kromosom pada alat buah dan pastikan mereka sudah membaca materi mengenai bagian kromosom dan struktur kromosom pada buku siswa.
2. Tampilkan gambar berikut di depan kelas. Lalu, minta peserta didik untuk mengamati gambar tersebut.



Gambar 2.2 Kromosom seks.

3. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.

- a. Bagian kromosom terdiri atas apa saja?
- b. Bagaimana struktur kromosom pada eukariot?
4. Beri kesempatan peserta didik untuk mengemukakan jawabannya.
5. Tekankan bahwa bentuk kromosom hanya dimiliki oleh eukariot. Bagian utama kromosom berupa DNA yang dikemas oleh protein. Kromosom memiliki bagian, yaitu lengan (kromatid) dan sentromer. Berdasarkan letak sentromernya kromosom dapat dibedakan menjadi telosentrik, akrosentrik, metasentrik, dan submetasentrik.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali hasil pengamatan bentuk kromosom pada lalat buah dan pastikan mereka sudah membaca materi mengenai bagian kromosom dan struktur kromosom pada Buku Siswa.
2. Tampilkan kembali gambar kromosom lalat buah yang sudah dibahas pada pertemuan sebelumnya dan sandingkan dengan gambar kromosom manusia.
3. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Sebutkan bagian atau struktur kromosom?
 - b. Bagaimana struktur kromosom alat buah dan kromosom manusia?
 - c. Apakah terdapat perbedaan kromosom lalat buah tersebut dengan kromosom manusia?
4. Beri kesempatan peserta didik untuk mengemukakan jawabannya.
5. Tekankan bahwa bentuk kromosom hanya dimiliki oleh eukariot. Bagian utama kromosom berupa DNA yang dikemas oleh protein. Kromosom memiliki bagian, yaitu lengan (kromatid) dan sentromer. Berdasarkan letak sentromernya kromosom dapat dibedakan menjadi telosentrik, akrosentrik, metasentrik, dan submetasentrik.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Arahkan peserta didik membuat kelompok dan melakukan Aktivitas 2.5.
2. Ajak peserta didik menyampaikan hasil penelusuran studi literatur pada Aktivitas 2.5.
3. Minta peserta didik mendiskusikan hasil penelusuran studi literatur di kelompok masing-masing. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan berkomunikasi.

4. Pantau setiap kelompok dalam diskusinya. Jika ada yang kurang dimengerti, guru dapat membantu untuk menjelaskan.
5. Tekankan bahwa jumlah kromosom tidak ada hubungannya dengan besar kecilnya makhluk hidup. Jumlah kromosom pada makhluk hidup tidak menunjukkan hubungan kekerabatan karena hubungan kekerabatan dapat diketahui dari tingkat klasifikasinya.
6. Lalu, ajak peserta didik melanjutkan Aktivitas 2.6 untuk menyusun kariotipe suatu individu dan menentukan jenis kelamin manusia dari hasil dari penyusunan kariotipe tersebut.
7. Periksa hasil pekerjaan peserta didik dan jelaskan jika terjadi kekeliruan dalam menentukan susunan pasangan kromosom dan menentukan jenis kelaminnya.
8. Tekankan bahwa kromosom terdiri atas autosom dan gonosom. Kedua kromosom tersebut dapat mengekspresikan sifat-sifat terkait ciri fenotip baik morfologi, psikis, maupun ekspresi kelamin.

— Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Minta peserta didik membuat bagan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom di buku kerja mereka.

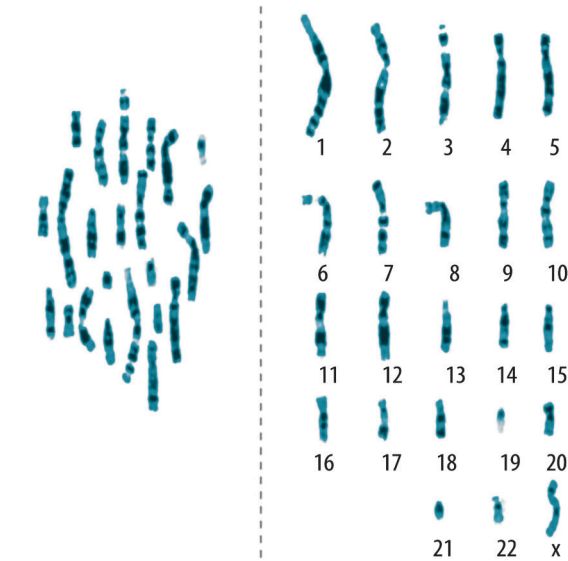
Kunci Jawaban

Aktivitas 2.5

- a. Makhluk hidup memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda dan jumlah kromosom tidak memengaruhi ukuran tubuh dan derajat tingkatan kesempurnaan.
- b. Jumlah kromosom pada makhluk hidup tidak menunjukkan hubungan kekerabatan. Contohnya, orang utan dan kentang sama-sama memiliki jumlah kromosom 48. Namun, keduanya tidak memiliki hubungan kekerabatan.

Aktivitas 2.6

Hasil kariotiping manusia normal



Pertemuan Keenam

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat mendeskripsikan hubungan antara DNA, gen, dan kromosom.
2. Peserta didik dapat mengkorelasikan antara DNA, gen, dan kromosom dalam pewarisan sifat.
3. Peserta didik dapat menjelaskan tahap-tahap sintesis protein.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari materi genetika DNA, gen, dan kromosom pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali Aktivitas 2.3 mengenai metode PCR.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
Apakah kalian mengetahui mengenai metode forensik dalam melakukan identifikasi pelaku suatu kasus kejahatan?
3. Tekankan kepada peserta didik bahwa sekarang ini prinsip genetika dapat diterapkan dalam berbagai bidang termasuk bidang forensik.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta mengingat kembali Aktivitas 2.3 mengenai metode PCR.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik
 - a. Apa yang ada dibenak kalian ketika kalian mendengar kata forensik?
 - b. Apa yang diperiksa oleh polisi ketika ingin mengungkapkan pelaku pembunuhan?
3. Tekankan kepada peserta didik bahwa sekarang ini prinsip genetika dapat diterapkan dalam berbagai bidang termasuk bidang forensik.

Konstruksi Pengetahuan

1. Arahkan peserta didik membuat kelompok yang terdiri atas 4 - 5 orang untuk melakukan Aktivitas 2.7.
2. Minta peserta didik berpikir kritis tentang bagaimana metode forensik yang biasa dilakukan kepolisian dapat mengungkapkan pelaku pembunuhan dengan sampel darah atau sel epitel yang tertinggal di TKP.
3. Minta peserta didik mendiskusikan di dalam kelompoknya masing-masing. Lalu, ajak mereka untuk saling bertukar pikiran dan mengeluarkan pendapatnya.
4. Setelah selesai diskusi di dalam kelompok, ajak peserta didik berdiskusi dengan kelompok lain.
5. Dampingi peserta didik ketika diskusi dan membantu peserta didik yang mengalami kesulitan.

— Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik untuk mengamati proses metode forensik tersebut menggunakan prinsip genetik untuk mengidentifikasi pelaku dengan kesamaan struktur DNA pelaku dengan bukti yang berada di lokasi. Tekankan peserta didik penerapan teknologi genetik dalam forensik dapat menggunakan metode *restriction fragment length polymorphism* (RFLP) atau PCR. Saat ini, RFLP sudah tidak lagi digunakan karena membutuhkan sampel DNA yang banyak dan sampel yang diperoleh pun biasanya lebih mudah terdegradasi maka saat ini forensik lebih sering memakai metode PCR.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Minta peserta didik menuliskan hal-hal menarik tentang substansi genetika yang mereka temukan dalam subbab ini. Selain itu, minta peserta didik menuliskan bagaimana hubungan antara kode genetik dengan sintesis protein.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.7

Pelacakan identitas forensik dapat dilakukan dengan mencocokkan antara DNA korban dengan terduga keluarga korban. Hampir semua sampel biologis tubuh dapat digunakan untuk sampel tes sidik DNA, seperti darah, rambut, usapan mulut pada pipi bagian dalam, kuku, tulang, kulit, air liur atau sampel biologis apa saja yang ditemukan di tempat kejadian perkara (TKP) dapat dijadikan sampel tes sidik DNA.

RFLP merupakan salah satu aplikasi yang digunakan untuk forensik. RFLP merupakan teknik sidik DNA berdasarkan deteksi fragmen DNA dengan panjang yang bervariasi. Awalnya, DNA diisolasi dari sampel yang kemudian dipotong dengan enzim khusus *restriction endonuclease*. Enzim ini memotong DNA pada

pola sekuen tertentu yang disebut *restriction endonuclease recognition site* (sisi yang dikenali oleh enzim restriksi). Ada atau tidaknya sisi yang dikenali ini di dalam sampel DNA menghasilkan fragmen DNA dengan panjang yang bervariasi. Selanjutnya, potongan fragmen tersebut akan dipisahkan dengan elektroforesis. Metode ini akan memunculkan pita-pita yang unik untuk setiap individu, yang dapat membedakan individu satu dengan yang lainnya.

Pertemuan Ketujuh

Subbab : Sintesis Protein

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menjelaskan tahap-tahap sintesis protein.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari molekul dan senyawa pada kelas X.
2. Peserta didik telah mempelajari materi genetika pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
Apakah kalian pernah merasa lesu, gelisah, *moody*, dan galau?
Kemudian, jelaskan bahwa keadaan lesu, gelisah, *moody*, dan galau tersebut merupakan salah satu ciri orang yang kekurangan protein.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa itu protein?
 - b. Bagaimana proses sintesis protein terjadi?
3. Ajak peserta didik membaca mengenai sintesis protein yang terdapat dalam buku siswa.
4. Ajak peserta didik melihat video Youtube dengan kata kunci *from DNA to protein*, sintesis protein, atau dogma sentral genetika.

Alternatif 2 >>>>

1. Bangkitkan ingatan peserta didik mengenai tentang molekul atau senyawa protein.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa unsur-unsur penyusun protein?
 - b. Apa fungsi protein?
 - c. Bagaimana caranya makhluk hidup mendapatkan protein?
3. Arahkan peserta didik berpikir bahwa protein yang tidak dapat diproduksi di dalam tubuh. Namun, protein dapat kita dapatkan dari makanan yang kita makan, protein juga dapat diproduksi sendiri di dalam tubuh manusia yang disebut sintesis protein.
4. Ajak peserta didik membaca mengenai sintesis protein yang terdapat dalam Buku Siswa.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Arahkan peserta didik membuat kelompok besar yang terdiri atas 7 - 8 orang untuk melakukan Aktivitas 2.8.
2. Minta peserta didik bermain peran atau simulasi proses sintesis protein. Arahkan peserta didik untuk:
 - a. membuat skenario terlebih dahulu untuk menjelaskan sintesis protein melalui bermain peran,
 - b. berbagi peran dengan teman sekelompoknya sesuai komponen-komponen yang berperan dalam sintesis protein dan skenario yang telah dibuat, dan
 - c. membuat properti yang dapat membantu dalam bermain peran.
3. Minta peserta didik menunjukkan simulasi proses sintesis protein di depan kelas. Lalu, berikan pendapat dan masukan atas hasil simulasi mereka.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa protein berfungsi secara aktif. Saat pembentukan protein, dibutuhkan suatu proses sintesis yang akan mengubah asam amino yang terdapat dalam linier menjadi protein dalam tubuh. Tekankan bahwa sintesis protein merupakan proses pembentukan protein dari DNA oleh RNA yang tahapannya terdiri atas transkripsi dan translasi.

Aplikasi Konsep

Tanyakan kepada peserta didik tentang proses yang terjadi selama sintesis protein. Tekankan pada peserta didik bahwa sintesis protein merupakan suatu proses yang kompleks, termasuk di dalamnya penerjemahan kode-kode pada RNA menjadi polipeptida. Sintesis protein terjadi di organel sel yang disebut ribosom (sitoplasma). Proses ini melibatkan komponen DNA, RNA, asam amino, dan enzim. Hubungan antara komponen yang terlibat dalam proses sintesis protein dikenal sebagai dogma sentral biologi.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan pada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik membuat gambar ringkasan proses sintesis protein beserta penjelasannya.
2. Minta peserta didik mengumpulkan kepada guru.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.8

Berikut tahapan sintesis protein yang dapat dijadikan panduan dalam bermain peran,

- a. Tahap inisiasi, yaitu tahap di mana kodon pertama mRNA bertemu dengan ribosom dan disebut kodon pemula (*start codon*). *Start codon* memiliki kode AUG.
- b. Tahap elongasi, yaitu tahap di mana kodon yang dibawa mRNA akan diterjemahkan menjadi asam amino. Setelah itu, asam-asam amino akan digabungkan oleh tRNA yang akan membawa asam amino untuk disusun membentuk rantai polipeptida atau protein.
- c. Tahap terminasi, yaitu tahap terakhir di mana proses sintesis akan berakhir setelah sampai pada kodon stop (*stop codon*). Ada tiga jenis kodon stop, yaitu UAA, UAG, dan UGA.

Subbab : Pembelahan Sel
Alokasi waktu : 4 kali pertemuan/8 jam pelajaran

Pertemuan Kedelapan

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
2. Peserta didik dapat menganalisis peran mitosis dan meiosis.
3. Peserta didik dapat menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel.
2. Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel pada sistem reproduksi.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk memperhatikan gambar mimic octopus.
2. Minta peserta didik membaca pendahuluan sub bab pembelahan sel.
3. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik mengenai gambar dan pendahuluan sub bab.
 - a. Pernahkah kalian melihat atau mendengar mengenai mimic octopus?
 - b. Apakah yang terjadi pada telur mimic octopus yang menetas menjadi anak gurita? Apakah peristiwa ini disebut dengan pertumbuhan?
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa semua makhluk hidup mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan adalah proses bertambahnya ukuran tubuh secara permanen. Pertumbuhan biasanya melibatkan proses pembelahan sel tapi tidak terjadi diferensiasi sel. Pembelahan sel yang berlangsung saat pertumbuhan disebut mitosis.

Alternatif 2 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk memperhatikan gambar mimic octopus.
2. Ajak peserta didik diskusi mengenai apa yang ada pada pendahuluan subbab pembelahan sel.
3. Ajak peserta didik menonton video mengenai pembelahan sel dan membandingkan dengan apa yang terjadi pada mimic octopus yang dibahas pada pendahuluan subbab.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa semua makhluk hidup mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan adalah proses bertambahnya ukuran tubuh secara permanen. Biasanya, pertumbuhan melibatkan proses pembelahan sel tapi tidak terjadi diferensiasi sel. Pembelahan sel yang berlangsung saat pertumbuhan disebut pembelahan mitosis.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 2.9, yaitu pengamatan pembelahan mitosis dengan akar bawang merah.
2. Minta peserta didik mengamati hasil percobaannya dan membuat laporan hasil percobaan tersebut.
3. Minta peserta didik mempresentasikan hasil pengamatannya dan mendiskusikan tahapan pembelahan mitosis beserta ciri-cirinya bersama teman sekelas.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa pembelahan sel menghasilkan beberapa set kromosom dalam jumlah yang sama dengan sel induk. Tekankan bahwa hasil pembelahan mitosis akan menghasilkan anakan yang identik secara genetik dengan induknya.

Aplikasi Konsep

Tanyakan kepada peserta didik, apakah di tubuh mereka juga terjadi proses mitosis seperti yang terjadi pada akar bawang merah. Tekankan pada peserta didik bahwa proses pembelahan mitosis akan menggantikan sel-sel mati dengan sel-sel yang baru.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.

2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan pada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

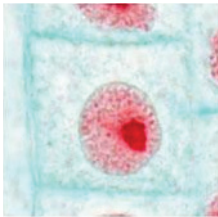
Tindak Lanjut Pembelajaran

Minta peserta didik membuat gambar tahapan mitosis beserta keterangannya, lalu dikumpulkan kepada guru.

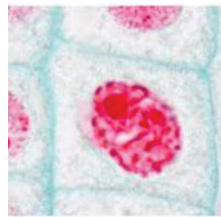
Kunci Jawaban

Aktivitas 2.9

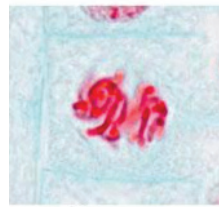
Contoh gambar pembelahan mitosis pada akar tanaman bawang beserta tahapannya.



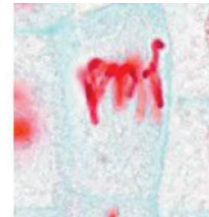
interfase



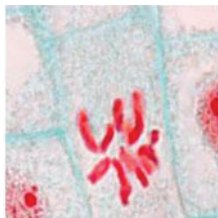
profase



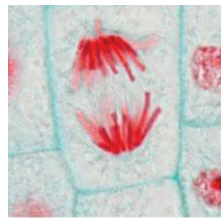
profase akhir



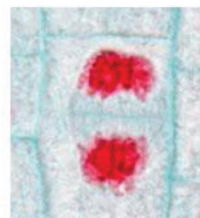
metafase



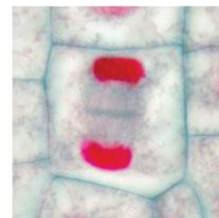
anafase awal



anafase



telofase



telofase akhir

Sumber: Clayton, Michael W.

Pertemuan Kesembilan

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
2. Peserta didik dapat menganalisis peran mitosis dan meiosis.
3. Peserta didik dapat menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel pada kelas XI.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa yang kalian ketahui sebelumnya mengenai siklus sel?
 - b. Apa yang terjadi ketika siklus sel berjalan?
2. Minta peserta didik berpendapat sesuai dengan yang mereka ketahui.
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa seperti sebuah program di laptop, sel juga memiliki program yang akan berjalan secara otomatis untuk melakukan pembelahan sel. Proses yang terjadi antara satu pembelahan dengan pembelahan berikutnya disebut siklus sel.
4. Minta peserta didik membaca materi siklus sel pada buku siswa.

Alternatif 2 >>>>

1. Ingatkan kembali Aktivitas 2.9 mengenai pembelahan mitosis.
2. Tekankan bahwa pembelahan mitosis merupakan sebagian dari suatu siklus sel.
3. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah mendengar mengenai siklus sel?
 - b. Apa itu siklus sel?

4. Ajak peserta didik memerhatikan gambar atau video mengenai siklus sel.
5. Ajak peserta didik berpikir bahwa seperti halnya sebuah program di laptop, sel juga memiliki program yang akan berjalan secara otomatis untuk melakukan pembelahan sel. Proses yang terjadi antara satu pembelahan dengan pembelahan berikutnya disebut siklus sel.
6. Minta peserta didik membaca materi siklus sel pada Buku Siswa.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan penelusuran studi literatur mengenai cara tubuh mengeliminasi sel-sel yang rusak.
2. Minta peserta didik mencari sumber literatur dan membaca mengenai proses tubuh dalam mengeliminasi sel-sel yang rusak.
3. Ajak peserta didik membayangkan bagaimana jika sel-sel yang rusak tersebut tidak dieliminasi.
4. Minta peserta didik mencari hal apa yang akan terjadi jika sel yang rusak terus berada di dalam tubuh. Lalu, minta peserta didik mencari contoh kasus yang terjadi melalui pencarian studi literatur ilmiah untuk kemudian dipresentasikan di depan kelas.

Aplikasi Konsep

Tanyakan kepada peserta didik mengenai seberapa penting siklus sel dalam mempertahankan sel-sel yang dibutuhkan dalam tubuh dan pentingnya proses bunuh diri sel yang telah rusak. Tekankan pada peserta didik bahwa siklus sel terdiri atas tiga tahap, yaitu interfase (tahap persiapan proses berikutnya), mitosis (pembelahan inti atau kariokinesis), dan pembelahan sel (pembelahan sitoplasma atau sitokinesis). Siklus sel tersebut akan otomatis berjalan. Jika ada sel yang rusak maka otomatis tubuh akan mengeliminasinya. Jika tubuh tidak melakukannya maka akan menimbulkan masalah, salah satunya dapat menimbulkan penyakit kanker.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan pada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik membuat ringkasan mengenai siklus sel.
2. Minta peserta didik membaca tahap-tahap siklus sel pada buku siswa.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.10

Kanker adalah suatu penyakit di mana regulasi siklus sel mengalami penyimpangan dan sel kehilangan sifat normalnya. Siklus sel merupakan proses penting dalam kehidupan setiap organisme. Secara normal, siklus sel menghasilkan pembelahan sel. Pembelahan sel terdiri atas 2 proses utama, yaitu replikasi DNA dan pembelahan kromosom yang telah digandakan kepada 2 sel anak. Untuk menjamin bahwa DNA bereplikasi dengan akurat dan pemisahan kromosom terjadi dengan benar, maka siklus sel melakukan mekanisme *checkpoint*. *Checkpoint* bertugas mendeteksi kerusakan DNA. Apabila terdapat kerusakan DNA, *checkpoint* akan memacu yang dikenal dengan *cell cycle arrest* sementara untuk perbaikan DNA atau *cell cycle arrest* permanen sehingga sel memasuki fase penuaan. Bila mekanisme *cell cycle arrest* tidak cukup menjamin DNA yang rusak diduplikasi, maka sel akan dieliminasi dengan cara apoptosis. Apoptosis merupakan kematian sel yang terprogram, kegagalan apoptosis dapat menyebabkan sel membelah tanpa terkendali yang kita kenal dengan sel kanker.

Pertemuan Kesepuluh

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
2. Peserta didik dapat menganalisis peran mitosis dan meiosis.
3. Peserta didik dapat menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel pada kelas XI.
2. Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel pada sistem reproduksi pada kelas XI.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
Apakah ada makhluk hidup yang abadi?
2. Ajak peserta didik membayangkan jika makhluk hidup tidak melakukan reproduksi, makhluk hidup akan punah.
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa dalam reproduksi melibatkan sel gamet. Gamet terbentuk melalui proses pembelahan meiosis dan menghasilkan empat buah sel anakan yang masing-masing memiliki satu set kromosom.

Alternatif 2 >>>>

1. Ingatkan kembali materi mitosis di subbab sebelumnya dengan melakukan tanya jawab dengan peserta didik.
2. Ajak peserta didik memerhatikan gambar makhluk hidup (hewan) di mana ada induk dan anak-anaknya.
3. Arahkan peserta didik untuk berpikir bahwa makhluk hidup memerlukan suatu reproduksi untuk dapat mempertahankan dirinya dari kepunahan.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa dalam reproduksi ada proses fertilisasi di mana ada pertemuan gamet jantan dan gamet betina. Sel gamet jantan dan betina berasal dari proses pembelahan meiosis. Pada proses meiosis tersebut terjadi pembentukan gamet atau gametogenesis.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik mengingat kembali bahwa semua makhluk hidup pasti akan mati dan untuk mempertahankan hidupnya agar tidak punah, makhluk hidup melakukan reproduksi.
2. Minta peserta didik melakukan penelusuran studi literatur mengenai apa itu sel gamet dan perbedaan antara sel gamet dengan sel tubuh.

3. Ajak peserta didik berpikir bahwa sel gamet jantan dan betina berasal dari proses pembelahan meiosis. Pada proses meiosis tersebut terjadi pembentukan gamet atau gametogenesis. Gametogenesis merupakan proses pembentukan dan perkembangan sel germinal diploid ($2n$) menjadi sel gamet (ovum dan spermatozoa) haploid (n). Proses pembentukan ovum disebut oogenesis. Adapun proses pembentukan spermatozoa disebut spermatogenesis.

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik memahami proses meiosis dan gametogenesis. Amati apakah mereka sudah dapat menyebutkan tahapan proses meiosis, spermatogenesis, dan oogenesis.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Minta masing-masing peserta didik membuat video Tiktok yang menjelaskan proses meiosis dan gametogenesis (spermatogenesis dan oogenesis). Arahkan peserta didik untuk saling menilai video Tiktok yang telah dibuat. Peserta didik yang mendapatkan *like* terbanyak akan mendapatkan tambahan nilai.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.11

1. Gamet adalah sel reproduksi yang mengandung satu salinan kromosom.
2. Sel somatik dan gamet adalah dua jenis sel yang masing-masing terlibat dalam reproduksi organisme aseksual dan seksual. Sel somatik dapat ditemukan di mana-mana dalam tubuh sedangkan gamet terbatas pada organ reproduksi. Gamet jantan disebut sperma, sedangkan gamet betina disebut ovum. Perbedaan utama antara sel somatik dan gamet, yaitu sel

somatik terdiri atas genom diploid, sedangkan gamet terdiri atas genom haploid. Jumlah kromosom dalam satu sel tubuh (sel somatik) berjumlah dua set atau dikenal sebagai diploid ($2n$), sedangkan pada sel kelamin (sel gamet) jumlah kromosomnya satu set atau haploid (n).

3. Pembelahan sel pada organisme untuk menghasilkan sel gamet merupakan pembelahan meiosis, yaitu pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom setengah dari induknya. Jadi, dalam proses pembelahan meiosis terjadi pengurangan atau reduksi jumlah kromosom akibat pembagian. Pengurangan ini bertujuan memelihara jumlah kromosom yang tetap dalam satu spesies. Pada sel hewan dan tumbuhan, pembelahan meiosis terjadi di dalam organ reproduksi, yaitu pada pembentukan sel kelamin atau sel gamet.

Kesimpulan:

Sel gamet terdiri atas gamet jantan (spermatozoa) yang dihasilkan di testis dan gamet betina (ovum) yang dihasilkan di ovarium. Terdapat dua jenis proses pembelahan sel, yaitu mitosis dan meiosis. Mitosis yaitu pembelahan sel dari induk menjadi 2 anakan tetapi tidak terjadi reduksi kromosom. Contohnya apabila ada sel tubuh yang rusak maka akan terjadi proses pergantian sel baru melalui pembelahan mitosis. Adapun pembelahan meiosis, yaitu pembelahan sel dari induk menjadi 2 anakan dengan adanya reduksi kromosom. Contohnya pembelahan sel kelamin atau gamet dalam proses reproduksi manusia. Pada pembelahan mitosis menghasilkan sel baru yang jumlah kromosomnya sama persis dengan sel induk yang bersifat diploid ($2n$), sedangkan pada meiosis jumlah kromosom pada sel baru hanya bersifat haploid (n). Gametogenesis ada dua, yaitu spermatogenesis dan oogenesis.

Pertemuan Kesebelas

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
2. Peserta didik dapat menganalisis peran mitosis dan meiosis.
3. Peserta didik dapat menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari struktur dan fungsi sel pada kelas XI.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali materi pelajaran sebelumnya mengenai mitosis dan meiosis.
2. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik mengenai perbedaan mitosis dan meiosis.
3. Berikan kesempatan peserta didik untuk menjawab dan mengemukakan pendapatnya.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali materi pelajaran sebelumnya mengenai mitosis dan meiosis.
2. Ajak peserta didik menonton video mengenai mitosis dan meiosis
3. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik mengenai perbedaan mitosis dan meiosis.

Konstruksi Pengetahuan

1. Siapkan gambar sel-sel dalam tahapan mitosis dan meiosis (Gambar ada di kunci jawaban di bawah). Lalu, acak gambar tersebut.
2. Arahkan peserta didik untuk membuat kelompok yang terdiri atas 4 - 5 orang.
3. Minta peserta didik melakukan Aktivitas 2.12, yaitu menyusun gambar yang disediakan guru mengenai proses mitosis dan meiosis. Susunan gambar tahapan harus tepat.
4. Minta peserta didik lain menilai apakah gambar yang disusun kelompok yang lain sudah benar. Jika menurutnya belum tepat, berikan kesempatan kelompok yang dinilai untuk mengutarakan pendapat mereka.
5. Jika masing-masing kelompok sudah saling melakukan penilaian, minta masing-masing kelompok menjelaskan susunan gambar yang telah mereka susun. Lalu, minta mereka membedakan proses mitosis dan meiosis.

6. Ajak peserta didik berpikir bahwa mitosis dan meiosis memiliki perbedaan, yaitu:

Pembeda	Mitosis	Meiosis
Tujuan	Pertumbuhan dan Regenerasi	Gametogenesis
Sel	Sel somatik	Sel gamet
Sifat anak	Identik dengan induk	Tidak identik
Jumlah kromosom sel anak	Kromosom anak sama dengan kromosom induk (diploid)	Kromosom sel anak setengah dari sel induk (haploid)
Pindah Silang	Tidak terjadi pindah silang sifat	Terjadi pindah silang sifat
Proses Pembelahan	Terjadi satu kali proses	Terjadi dua kali proses
Jumlah sel anak	2 sel anak	4 sel anak

— Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis. Tanyakan apakah peserta didik sudah dapat menyebutkan perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis.

// Refleksi Pembelajaran //

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan kepada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

// Tindak Lanjut Pembelajaran //

Minta peserta didik membuat tabel perbedaan mitosis dan meiosis.

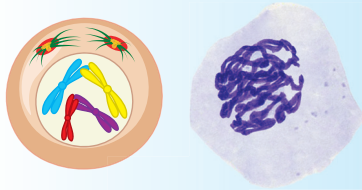
Kunci Jawaban

Aktivitas 2.12

Berikut tahapan pembelahan secara mitosis.

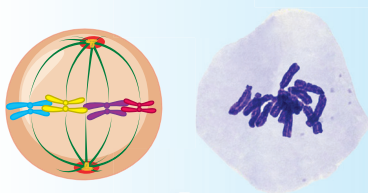
Tahap-Tahap Mitosis

Profase



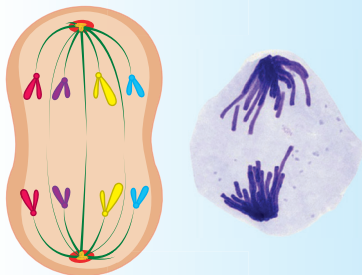
Memasuki profase benang kromatin yang telah berduplikasi pada fase interfase, mengalami kondensasi, kromosom menggulung pada protein histon membentuk kromosom. Kromosom memadat, memendek dan menjadi lebih tebal. Tiap kromosom terdiri atas 2 kromatid yang identik yang melekat pada sentromer. Nukleolus dan membran inti menghilang. Akhir profase terbentuklah benang spindel.

Metafase



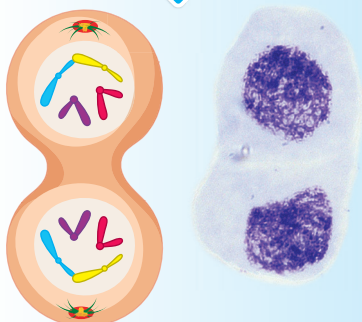
Pada fase ini, pasangan kromatid bergerak ke bagian tengah inti sel di sepanjang bidang ekuator dengan sentromer melekat pada benang benang spindel.

Anafase



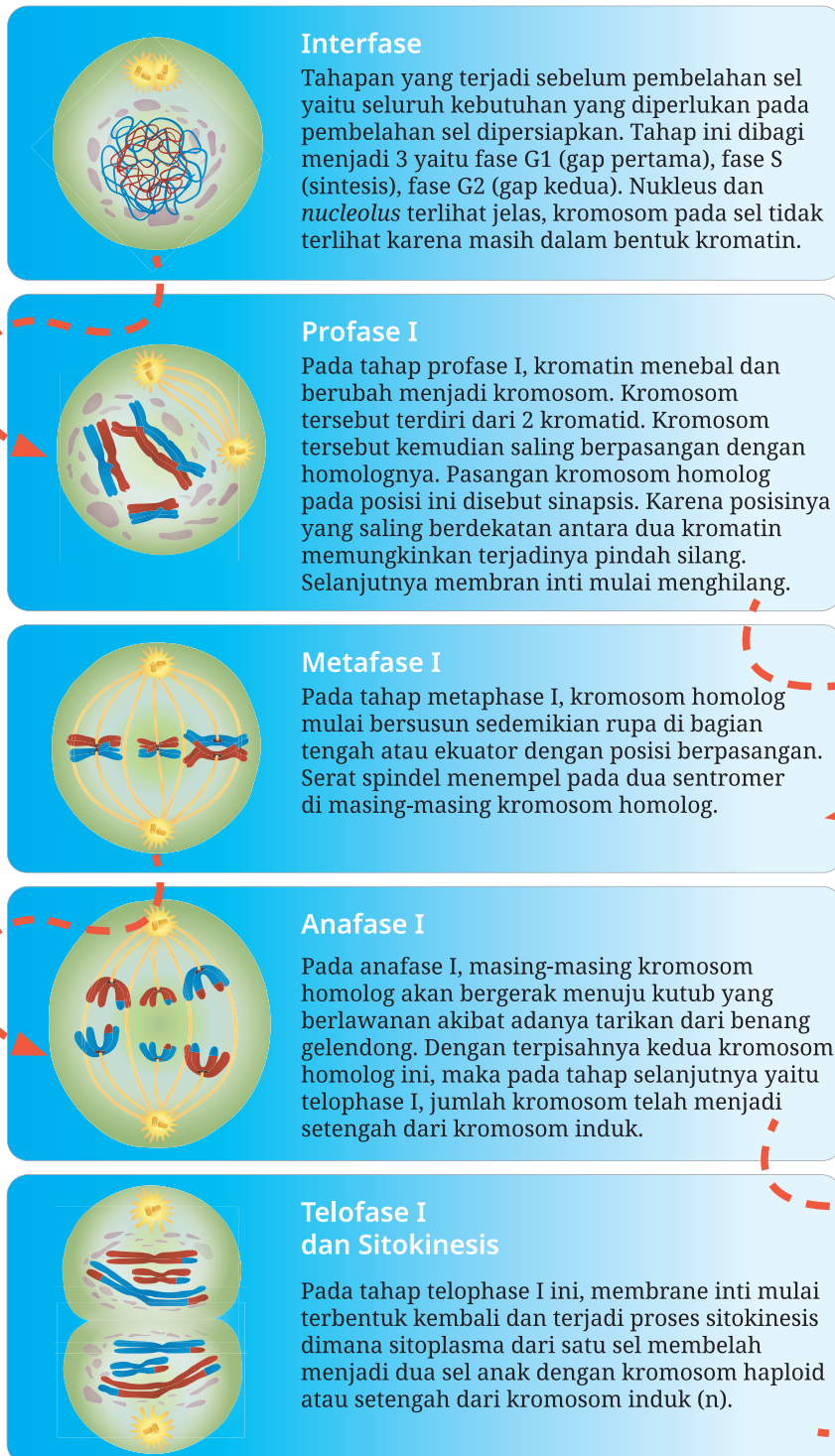
Proses ini didahului dengan membelahnya sentromer. Benang-benang spindel memendek dan menarik kromatid hingga setiap kromatid memisahkan diri dari sentromer dan masing-masing bergerak sebagai kromosom anakan menuju kutub dari spindel yang berlawanan letaknya.

Telofase

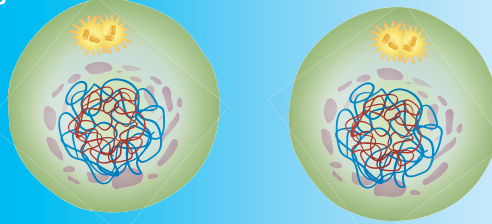


Datangnya kromosom anakan di kutub spindel merupakan tanda dimulainya telofase. Benang-benang spindel terurai dan menghilang. Terbentuknya membran inti baru di sekeliling kromosom-kromosom pada masing-masing kutub sel.

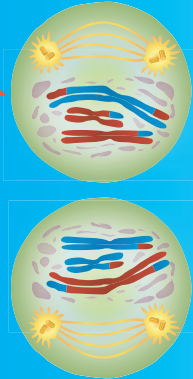
Berikut tahap pembelahan secara meiosis.



Interkinesis

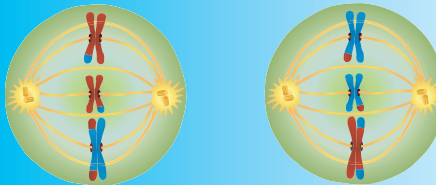


Profase II



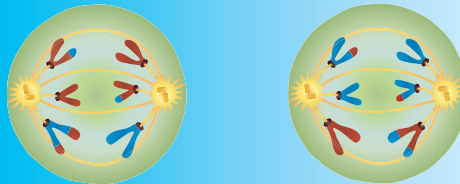
Profase II ini, sentrosom membelah menjadi 2 sentriol yang akan bergerak ke kutub yang berlawanan. Selanjutnya, kromosom akan mulai memendek dan menebal diikuti dengan menghilangnya membran inti sel. Pada tahap ini mulai terbentuk benang-benang spindel.

Metafase II



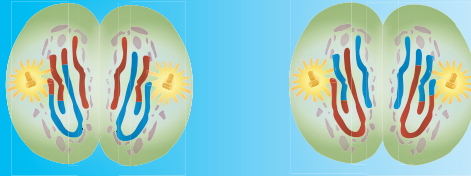
Pada tahap metafase II, kromosom mulai tersusun rapi pada bidang ekuator. Dengan susunan seperti pada metaphase mitosis. Mulai tersusun benang-benang spindel yang salah satu ujungnya melekat pada sentromer, ujung lainnya melekat pada kutub yang berlawanan.

Anafase II



Pada tahap anafase II terjadi pemisahan kromatid. Kromatid ditarik menuju kutub yang berlawanan, Selanjutnya kromatid yang sudah dipisah ini disebut sebagai kromosom.

Telofase II dan Sitokinesis



Fase akhir disebut dengan telofase II. Benang-benang spindel menghilang dan membran inti mulai terlihat. Hasil dari proses akhir ini adalah 4 sel anak, yang masing-masing memiliki separuh jumlah kromosom sel induknya.

Subbab : Pewarisan Sifat
Alokasi waktu : 2 kali pertemuan (4 jam pelajaran)

Pertemuan Keduabelas

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menganalisis pola-pola pewarisan sifat makhluk hidup.
2. Peserta didik dapat menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
3. Peserta didik dapat menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari persilangan berdasarkan hukum Mendel pada kelas IX.
2. Peserta didik telah mempelajari pembelahan sel pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik, apakah mereka atau saudara kandung mereka mirip dengan orang tua mereka.
2. Ajak peserta didik berpikir bahwa pasti ada kemiripan antara mereka dengan orang tua mereka karena ada sifat atau ciri yang diwariskan orang tua kepada anaknya.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati foto keluarga yang terdapat di dalam Buku Siswa (Gambar 2.30).
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah dari kedua anak pada foto tersebut ada yang mirip dengan ibu atau bapaknya?
 - b. Apakah yang menyebabkan kemiripan tersebut?
 - c. Apa yang kalian ketahui tentang pewarisan sifat?
3. Konfirmasi jawaban peserta didik atas pertanyaan yang telah diajukan di atas.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa pasti ada kemiripan antara mereka dengan orang tua mereka karena ada sifat atau ciri yang diwariskan orang tua kepada anaknya.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik mencoba mencari fakta unik terkait kemiripan mereka dengan orang tuanya melalui Aktivitas 2.13.
2. Minta peserta didik membawa foto ayah dan ibu mereka. Lalu, minta mereka untuk mencari teman sebagai pasangan. Selanjutnya, arahkan masing-masing pasangan untuk saling mengisi tabel pengamatan dari foto yang dibawa.
3. Minta peserta didik menarik kesimpulan apakah mereka lebih mirip dengan ayah atau ibu mereka.
4. Minta peserta didik mencari penyebab kemiripan anak dengan orang tuanya.

5. Ajak peserta didik berpikir bahwa bentuk mata, jenis rambut, warna kulit, dan semua sifat yang ada di tabel fenotip merupakan sejumlah sifat atau ciri yang diwariskan dari orang tua kepada anaknya. Tekankan bahwa sifat atau fenotip dapat diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya dan biasa dinamakan pewarisan sifat.

Aplikasi Konsep

1. Ajak peserta didik mempelajari pewarisan sifat monohibrid dan dihibrid pada persilangan Mendel.
2. Ajak peserta didik menguji pemahaman melalui Aktivitas 2.14.
3. Tekankan kembali bahwa sifat orang tua atau induk dapat diwariskan kepada keturunannya.
4. Tekankan pada peserta didik mengenai Mendel yang melahirkan hukum pewarisan sifat dan dikenal dengan hukum Mendel I dan II.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Minta peserta didik berpikir dan mencari tahu apakah semua temuan Mendel di atas sepenuhnya benar.
2. Dorong dan motivasi peserta didik untuk mencari tahu karena dominasi kadang kala hanya berlaku untuk sebagian organisme. Ada organisme dengan sepasang gen, namun ada pula yang dengan empat pasang gen. Dengan demikian, penyimpangan terhadap prinsip pemilahan independen sangat menentukan.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.13

Penyebab seorang anak memiliki kemiripan dengan orang tuanya dikarenakan faktor genetik, yaitu gen. Gen merupakan bagian kromosom yang mengendalikan ciri genetis suatu makhluk hidup. Biasanya, gen diwarisi oleh satu individu kepada keturunannya melalui proses reproduksi. Saat sperma dan sel telur bertemu, terjadi penyatuan gen yang nantinya akan muncul menjadi gen baru yang bisa menentukan karakteristik anak.

Aktivitas 2.14

- a. Rasio dapat tidak tercapai karena jumlah populasinya terlampau sedikit dan pada kenyataannya di kehidupan, tidak semua persilangan dapat menghasilkan rasio fenotipe yang sesuai dengan hukum Mendel. Hal ini umumnya disebabkan oleh gen-gen yang mempengaruhi gen lain, bahkan ada yang terkait dengan reaksi asam basa kimiawi. Meskipun terdapat berbagai penyimpangan, rasio fenotipnya masih “patuh” pada kaidah hukum Mendel, sehingga fenomena ini disebut oleh para ahli sebagai penyimpangan semu hukum Mendel.

- b. P1 : Manggis Manis $\times$ Manggis Asam

MM mm

G1 : M m

F1 : Mm (100% Manggis Berbuah Manis)

P2 : Manggis Berbuah Manis $\times$ Manggis Berbuah Manis

Mm Mm

G2 : M M
m m

F2 : MM

Mm

Mm

mm

75% Manggis Manis (MM, Mm, dan Mm) dan 25% Manggis Asam (mm)

- c. P1 : Tanaman Tinggi Manis $\times$ Tanaman Pendek Asam

TTMM ttmm

F1 : TtMm (100% Tanaman Tinggi Manis)

P2 : Tanaman Tinggi Manis $\times$ Tanaman Tinggi Manis

TtMm TtMn

Gamet	TM	Tm	tM	tm
TM	TTMM Tinggi Manis	TTMm Tinggi Manis	TtMM Tinggi Manis	TtMm Tinggi Manis
Tm	TTMm Tinggi Manis	TTmm Tinggi Asam	TtMm Tinggi Manis	Ttmm Tinggi Asam
tM	TtMM Tinggi Manis	TtMm Tinggi Manis	ttMM Pendek Manis	ttMm Pendek Manis
tm	TtMm Tinggi Manis	Ttmm Tinggi Asam	ttMm Pendek Manis	ttmm Pendek Asam

Hasil persilangan dihibrid menunjukkan bahwa pada F2 terdapat 4 kombinasi fenotip yaitu tanaman tinggi manis, tinggi asam, pendek manis dan pendek asam dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1.

Pertemuan Ketiga Belas

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menganalisis pola-pola pewarisan sifat dalam makhluk hidup.
2. Peserta didik dapat menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
3. Peserta didik dapat menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari persilangan berdasarkan hukum Mendel di kelas IX dan subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

— Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali materi mengenai persilangan monohibrid Mendel.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
3.
 - a. Apa itu sifat dominan?
 - b. Apakah sifat dominan sama dengan pengertian sifat seseorang yang mendominasi?
 - c. Apakah resesif merupakan lawan dari dominan?
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa sifat dominan akan menutupi sifat lainnya. Adapun sifat resesif merupakan sifat yang tertutupi. Dengan mengetahui sifat dominan dan resesif akan membantu kita menentukan genotip.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik membuat kelompok yang terdiri atas 4 - 5 orang. Lalu, arahkan mereka untuk saling mengamati ciri-ciri fenotip temannya. Minta peserta didik mengelompokkan ciri yang paling banyak muncul dan paling sedikit muncul di antara teman-teman sekelompoknya.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
- a. Apa itu sifat dominan?
 - b. Apakah sifat dominan sama dengan pengertian sifat seseorang yang mendominasi?
 - c. Apakah resesif merupakan lawan dari dominan?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa sifat dominan akan menutupi sifat lainnya. Adapun sifat resesif merupakan sifat yang tertutupi. Dengan mengetahui sifat dominan dan resesif akan membantu kita menentukan genotip.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik mengingat kembali bahwa dalam persilangan monohibrid yang diperhatikan hanya satu sifat saja dari setiap individu. Selain itu, tekankan bahwa dalam persilangan ada sifat kuat yang disebut sifat dominan dan ada sifat lemah yang disebut sifat resesif. Tekankan

bahwa pada persilangan monohibrid dengan satu sifat beda akan muncul sifat dominan secara penuh pada generasi F1 dan pada generasi F2 akan diperoleh rasio 3:1 di mana sifat dominan akan lebih banyak muncul dibandingkan sifat resesif.

2. Setelah mengetahui sifat dominan dan resesif, ajak peserta didik melakukan Aktivitas 2.15. Ajak peserta didik membayangkan apakah organisme yang memiliki sifat dominan lebih sehat dan kuat dibandingkan dengan organisme yang memiliki sifat resesif dan sebaliknya.
3. Ajak peserta didik berdiskusi dan mengemukakan pendapat mereka.
4. Minta peserta didik melakukan penelusuran di internet berdasarkan sumber terpercaya mengenai penyakit-penyakit mematikan yang melibatkan sifat resesif atau dominan.
5. Minta peserta didik mempresentasikan hasil penelusurannya tersebut di depan kelas.
6. Ajak peserta didik berpikir bahwa organisme yang memiliki sifat dominan tidak selalu lebih sehat dan kuat dibandingkan dengan organisme yang memiliki sifat resesif.

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati sifat dominan dan resesif yang dapat mereka amati di lingkungan sekitar. Tanyakan apakah mereka sudah dapat menyebutkan contoh sifat dominan dan resesif. Memberikan contoh terkait uji silang seperti yang ada di buku siswa.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan kepada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Ajak peserta didik membaca mengenai uji silang dan mencoba melakukan uji silang. Genotip organisme yang menunjukkan sifat dominan dapat ditentukan dengan cara menyilangkan organisme induk homozigot dominan dengan organisme induk homozigot resesif, cara ini dikenal sebagai uji silang.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.15

Contoh kelainan pada manusia terpaut autosom yang bersifat dominan, yaitu polidaktili, thalasemia, akondroplasia, retinal aplasia, sindrom Marfan, neurofibromatosis, dan sindrom Huntington. Adapun contoh kelainan pada manusia yang terpaut autosom yang bersifat resesif, yaitu albino, Tay-Sachs, fibrosis kistik, fenilketonuria, anemia sel sabit, dan ataksia friedreich.

Aktivitas 2.16

Tumbuhnya rambut pada segmen digitalis kedua jari disebabkan adanya alel ganda. Alel dapat menunjukkan derajat dominansi dan keresesifan yang berbeda-beda satu sama lain. Dalam persilangan ercis Mendel, keturunan F1 selalu terlihat seperti salah satu dari kedua varietas induk sebab salah satu alel dalam satu alel tersebut menunjukkan dominan sempurna terhadap alel yang satu lagi. Dalam situasi semacam itu, fenotip heterozigot dan homozigot dominan tidak dapat dibedakan.

Alel ganda merupakan suatu peristiwa di mana lokus dalam sebuah kromosom ditempati oleh lebih dari satu alel atau suatu seri alel. Pengaruh penempatan alel yang berbeda pada lokus tersebut akan menyebabkan perbedaan fenotip. Keberadaan dari alel ganda pada suatu lokus dalam suatu populasi disebut genetik polimorfisme. Banyak terdapat perbedaan variasi yang terdapat dalam suatu lokus dari keberadaan alel ganda ini yang mana ada yang dapat dilihat dari kenampakan fenotip suatu individu, tetapi ada juga yang tidak dapat dilihat (tersembunyi) karena tidak memiliki pengaruh apapun. Alel ganda ini bersifat selektif netral bergantung dari penurunan acak gennya. Alel ganda tidak dapat diamati genotipnya pada individu dengan sifat diploid, tetapi dapat diamati dalam suatu populasi.

Subbab : Penyimpangan Semu Hukum Mendel
Alokasi waktu : 2 kali pertemuan (4 jam pelajaran)

Pertemuan Keempat belas

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menganalisis pola-pola pewarisan sifat dalam makhluk hidup.
2. Peserta didik dapat menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
3. Peserta didik dapat menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari persilangan berdasarkan hukum Mendel di subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali hukum Mendel dan sifat dominan dan resesif.
2. Ajak peserta didik mencari tahu apa itu yang dinamakan alel majemuk melalui contoh yang ada di buku siswa.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik kenapa dalam persilangan ercis Mendel, keturunan F1 selalu terlihat seperti salah satu dari kedua varietas induk?
2. Ajak peserta didik untuk menjawab ke arah alel lalu jelaskan pengertian alel. Alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang sama (bersesuaian) dan memiliki pekerjaan yang hampir sama dalam kromosom homolog.

Dilihat dari pengaruh gen pada fenotipe, alel memiliki pengaruh yang saling berlawanan dalam pengekspresian suatu sifat.

3. Lalu, arahkan kembali peserta didik untuk menjawab pertanyaan yang telah diajukan. Keturunan F1 selalu terlihat seperti salah satu dari kedua varietas induk sebab salah satu alel dalam satu alel tersebut menunjukkan dominansi sempurna terhadap alel yang satu lagi. Dalam situasi semacam itu, fenotip heterozigot dan homozigot dominan tidak dapat dibedakan. Sebuah gen dapat memiliki lebih dari satu alel. Alel-alelnya disebut alel ganda (*multiple allele*) atau alel majemuk.
4. Arahkan peserta didik untuk memerhatikan contoh yang terdapat pada buku siswa mengenai seri alel majemuk yang terdapat pada antigen dalam eritrosit yang terdapat pada sistem penggolongan darah ABO.

Konstruksi Pengetahuan

1. Arahkan peserta didik untuk melakukan Aktivitas 2.16 dengan membuat kelompok yang terdiri atas 5 orang.
2. Minta peserta didik mengamati rambut pada jari anggota dalam satu kelompoknya.
3. Minta peserta didik mencari penyebab munculnya fenotip rambut pada jari.
4. Minta perwakilan peserta didik untuk bertukar informasi dengan kelompok lain di depan kelas.

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati kasus di sekeliling mereka terkait dengan alel majemuk, contohnya golongan darah. Apakah peserta didik dapat menyebutkan mengenai apa itu alel majemuk.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan kepada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

Ajak peserta didik membaca mengenai alel majemuk, kodominansi, atavisme, kriptomeri, polimeri, epistasis-hipostasis, dan komplementer. Lalu, arahkan peserta didik melakukan Aktivitas 2.17.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.16

Tumbuhnya rambut pada segmen digitalis kedua jari disebabkan adanya alel ganda. Alel dapat menunjukkan derajat dominansi dan keresesifan yang berbeda-beda satu sama lain. Dalam persilangan ercis Mendel, keturunan F1 selalu terlihat seperti salah satu dari kedua varietas induk sebab salah satu alel dalam satu alel tersebut menunjukkan dominan sempurna terhadap alel yang satu lagi. Dalam situasi semacam itu, fenotip heterozigot dan homozigot dominan tidak dapat dibedakan.

Alel ganda merupakan suatu peristiwa dimana lokus dalam sebuah kromosom ditempati oleh lebih dari satu alel atau suatu seri alel. Pengaruh penempatan alel yang berbeda pada lokus tersebut akan menyebabkan perbedaan fenotip. Keberadaan dari alel ganda pada suatu lokus dalam suatu populasi disebut genetik polimorfisme. Banyak terdapat perbedaan variasi yang terdapat dalam suatu lokus dari keberadaan alel ganda ini yang mana ada yang dapat dilihat dari kenampakan fenotip suatu individu, tetapi ada juga yang tidak dapat dilihat (tersembunyi) karena tidak memiliki pengaruh apapun. Alel ganda ini bersifat selektif netral tergantung dari penurunan acak gennya. Alel ganda tidak dapat diamati genotipnya pada individu dengan sifat diploid, tetapi dapat diamati dalam suatu populasi.

Aktivitas 2.17

Contoh bukti jurnal terkait peristiwa penyimpangan semu hukum Mendel pada *link* di bawah ini:

<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/32608/NASKAH%20PUBLIKASI%20-%20II.pdf?sequence=12&isAllowed=y>

Pertemuan Kelima belas

Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menganalisis pola-pola pewarisan sifat dalam makhluk hidup.
2. Peserta didik dapat menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
3. Peserta didik dapat menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari materi gametogenesis pada subbab sebelumnya.
2. Peserta didik telah mempelajari materi reproduksi pada kelas XI.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik untuk mengingat kembali materi mengenai kromosom.
2. Ajak peserta didik berpikir bahwa sel telur perempuan (betina) hanya mengandung satu kromosom, yaitu kromosom X. Akan tetapi, pada laki-laki (jantan) akan menghasilkan dua jenis sperma, yaitu sperma yang mengandung satu kromosom X dan sperma yang mengandung satu kromosom Y.
3. Ajak peserta didik mengamati gambar penentuan jenis kelamin manusia saat proses fertilisasi pada buku siswa.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa tidak semua penentuan jenis kelamin organisme seperti pada manusia. Pada organisme lain, ada penentuan jenis kelamin yang dipengaruhi lingkungan. Misalnya, jenis kelamin aligator dipengaruhi oleh suhu tempat telur disimpan.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali materi mengenai kromosom.
2. Ajak peserta didik mengamati penentuan jenis kelamin pada belalang.
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa tidak semua penentuan jenis kelamin organisme seperti pada manusia. Pada organisme lain, ada penentuan jenis kelamin yang dipengaruhi lingkungan. Misalnya, jenis kelamin aligator dipengaruhi suhu tempat telur disimpan.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik membaca sekilas materi singkat penentuan jenis kelamin pada lebah madu.
2. Ajak peserta didik mencari tahu penentuan jenis kelamin pada lebah madu.
3. Minta peserta didik menentukan tipe penentuan jenis kelamin pada lebah madu dan mencari tahu prosesnya melalui penelusuran di internet dengan sumber yang terpercaya.
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa jenis kelamin suatu organisme ditentukan oleh faktor utama, yaitu genetik yang ditentukan oleh kromosom seks (gonosom).

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati bahwa setiap organisme yang melakukan perkembangbiakan secara seksual memiliki jenis kelamin berbeda sebagai alat reproduksinya. Apakah peserta didik sudah dapat menyebutkan mengenai tipe penentuan jenis kelamin.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi mengenai hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan kepada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik mencari artikel mengenai pautan seks yang menyebabkan suatu sifat warisan hanya muncul pada jenis kelamin tertentu.
2. Minta peserta didik membuat makalah, lalu kumpulkan kepada guru.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.18

Setelah melakukan perkawinan, seekor lebah jantan akan mati karena testisnya terlepas dan tertanam pada ovarium lebah ratu. Apabila telur dibuahi oleh sperma yang tersimpan dalam lebah ratu maka akan menghasilkan individu diploid yang berjenis kelamin sama seperti lebah ratu, yaitu betina. Dan jika telur tidak dibuahi oleh sperma yang tersimpan dalam lebah ratu maka akan menghasilkan individu haploid yang berjenis kelamin jantan.

Penentuan jenis kelamin lebah madu ini mengikuti tipe ploidi. Tipe haploid-diploid terdapat pada golongan Hymenoptera, misalnya lebah madu, rayap, dan semut. Pada serangga tersebut, jenis kelamin tidak ditentukan oleh kromosom seks karena pada sel tubuhnya tidak mempunyai kromosom seks.

Pertemuan keenam belas

Subbab : Mutasi
Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat menjelaskan peristiwa mutasi dan menganalisis sebab-sebab terjadinya mutasi.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari materi genetika dan pembelahan sel pada subbab sebelumnya.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah melihat seseorang dengan disabilitas (cacat) tertentu?
 - b. Apa penyebab seseorang mengalami disabilitas (cacat) dari lahir?
2. Ajak peserta didik berpikir bahwa kondisi cacat dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti faktor genetik, kromosom, gaya hidup dan lingkungan, infeksi, serta paparan obat.

Alternatif 2 >>>>

1. Ingatkan kembali peserta didik mengenai materi genetik yang dibahas sebelumnya.
2. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Masih ingatkah kalian materi genetik?
 - b. Apa saja yang termasuk materi genetik?
3. Ajak peserta didik mengamati gambar semangka berbiji dengan semangka tidak berbiji.
4. Tekankan kepada peserta didik mutasi bermacam-macam jenisnya. Mutasi dibedakan berdasarkan materi genetiknya, macam-macam sel yang mengalami mutasi, sifat genetiknya, arah mutasi, dan kejadiannya.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik menelaah kasus seseorang dengan jenis kelamin laki-laki, namun testisnya tidak berkembang (*testicular disgenesis*) sehingga tidak dapat menghasilkan sperma dan payudaranya tumbuh.
2. Minta peserta didik mencari tahu apa yang terjadi dan apakah dapat diobati.
3. Minta perwakilan peserta didik secara acak untuk menjelaskan jawaban mereka di depan kelas.
4. Minta perwakilan peserta didik lainnya untuk menanggapi jawaban temannya dan bandingkan dengan jawaban yang telah mereka cari. Jika terdapat perbedaan jawaban maka guru akan memandu mereka ke jawaban yang benar.

5. Ajak peserta didik berpikir bahwa di luar sana ada beberapa kelainan genetik (contohnya, mutasi gen dan mutasi kromosom) yang diderita oleh seseorang yang kemungkinan dapat menyebabkan penyakit. Oleh karena itu, mereka harus bersyukur dengan kondisi mereka saat ini. Tekankan bahwa mutasi dapat terjadi pada tingkat gen dan kromosom, sebagian besar mutasi akan menyebabkan penyakit.

Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati apakah ada peristiwa mutasi di lingkungan mereka. Apakah peserta didik sudah dapat menjelaskan mengenai mutasi beserta jenisnya.

Refleksi Pembelajaran

1. Ajak peserta didik berdiskusi hal-hal apa saja yang telah dipelajari dan hal-hal yang masih belum dipahami pada materi subbab ini.
2. Minta peserta didik menyampaikan pembelajaran apa yang telah mereka peroleh pada subbab ini.
3. Tekankan kepada peserta didik mengenai manfaat mempelajari subbab ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk menonton film terkait mutasi.
2. Minta mereka menceritakan kembali secara singkat (sinopsis) mengenai film tersebut dan sertakan komentar mengenai film tersebut terkait dengan materi genetik mutasi, lalu kumpulkan kepada guru.

Kunci Jawaban

Aktivitas 2.19

Sindrom Klinefelter (SK) merupakan kelainan kromosom seks yang paling banyak terjadi, disebabkan adanya kromosom X tambahan pada laki-laki (47,XXY). Pasien akan mengalami kegagalan perkembangan testis, dengan akibat hipogonadisme dan gangguan spermatogenesis. Gejala klinis SK yang lain adalah gangguan perkembangan, ginekomastia (payudara tumbuh), volume testis yang kecil, dan peningkatan kadar hormon gonadotropin (*hypergonadotropism*).

Kunci Jawaban untuk Uji Kompetensi

- | | |
|-------|-------|
| 1. E | 11. E |
| 2. E | 12. C |
| 3. D | 13. C |
| 4. E | 14. A |
| 5. D | 15. A |
| 6. C | 16. B |
| 7. E | 17. C |
| 8. B | 18. A |
| 9. B | 19. E |
| 10. C | 20. C |

Jenis Penilaian yang Dianjurkan pada Guru

Jenis	Bentuk	Teknik
Pengetahuan	Tes	• Ayo Mengingat Kembali • Aktivitas 2.1 Bereksplorasi Mengenal Materi Genetik • Aktivitas 2.3 Mengetahui Proses Replikasi melalui Metode Pemeriksaan PCR • Aktivitas 2.8 Memahami Sintesis Protein • Aktivitas 2.10 Menganalisis Siklus Sel Yang Tidak Normal Terjadi • Aktivitas 2.11 Menganalisis Perbedaan Sel Gamet dan Sel Tubuh • Aktivitas 2.12 Memahami Perbedaan Mitosis dan Meiosis • Aktivitas 2.14 Mengukur Tingkat Pemahaman tentang Persilangan Dihibrid • Aktivitas 2.16 Menganalisis gen yang bertugas menentukan genotip yang dipengaruhi oleh alel majemuk atau alel ganda. • Aktivitas 2.17 Memahami Penyimpangan Semu Hukum Mendel. • Aktivitas 2.18 Memahami Penentuan Jenis Kelamin • Aktivitas 2.19 Memahami Mutasi
	Nontes	• Aktivitas 2.5 Menganalisis Jumlah Kromosom Pada Makhluk Hidup • Aktivitas 2.7 Menganalisis proses forensik yang memanfaatkan teknologi genetika • Aktivitas 2.13 Menganalisis Pewarisan Sifat Melalui Pengamatan Kemiripan Orang tua dengan Anak • Aktivitas 2.15 Memahami Sifat Resesif dan Dominan Untuk Dapat Memahami Uji Silang

Keterampilan	Nontes	Proyek • Aktivitas 2.2 Mengetahui Struktur Molekul DNA • Aktivitas 2.4 Mengetahui bentuk kromosom <i>D. melanogaster</i>. • Aktivitas 2.6 Menganalisis Identitas Kromosom Pada Manusia • Aktivitas 2.9 Mengetahui tahap-tahap pembelahan mitosis pada akar bawang bombai.
Sikap	Nontes	Observasi

Catatan:

Penilaian dalam tabel hanya salah satu alternatif. Guru dapat memodifikasi penilaian disesuaikan dengan kondisi masing-masing sekolah. Guru melakukan remedial bagi peserta didik yang tidak mencapai KKM. Remedial dapat dilakukan dengan pemberian tugas atau pembelajaran ulang yang diakhiri dengan tes. Tes remedial yang disusun disesuaikan dengan tujuan pembelajaran yang belum tuntas pada masing-masing peserta didik.

No.	Aspek		Skor	Bobot
1.	Perencanaan	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Pemilihan lokasi atau tema.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Pemilihan perlengkapan dan cara memperoleh data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Rancangan jadwal proses pelaksanaan.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Pemilihan media presentasi.			
2.	Proses pelaksanaan proyek	4 poin terpenuhi	4	4
	a. Persiapan perlengkapan observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Persiapan pertanyaan teknik pengambilan data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kesesuaian data yang dicari dengan perencanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kerjasama kelompok.			
3.	Hasil produk presentasi	4 poin terpenuhi	4	3
	a. Media yang digunakan menarik.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Menampilkan gambar dan grafik.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kebenaran isi media presentasi.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kemudahan dalam memahami media presentasi.			

4	Presentasi a. Penggunaan bahasa yang baik dan benar. b. Penyampaian yang mudah dipahami. c. Penggunaan media yang menarik. d. Kekompakan tim.	4 poin terpenuhi	4	2
		3 poin terpenuhi	3	
		2 poin terpenuhi	2	
		1 poin terpenuhi	1	

Interaksi Guru dengan Orang Tua atau Wali

Guru dapat memberikan informasi kepada orang tua terkait penugasan proyek yang diberikan kepada anaknya. Ketika peserta didik akan mengambil data ke laboratorium terdekat, berikan pemantauan untuk tetap melakukan protokol kesehatan. Khusus tugas untuk mencari informasi di internet, diharapkan orang tua juga ikut mengawasi. Selain itu, guru dapat menginformasikan hasil refleksi dan pencapaian peserta didik pada materi sebagai salah satu bentuk umpan balik di akhir bab.

Refleksi untuk Guru

Guru perlu melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilakukan pada bab ini untuk menemukan hal-hal yang menjadi kendala untuk diperbaiki pada pembelajaran selanjutnya. Guru juga perlu melakukan refleksi terhadap konsep-konsep yang sulit dipahami peserta didik dan cenderung menjadi miskonsepsi untuk dicatat dan ditekankan pada pembelajaran selanjutnya.

Harapan Kurikulum

Guru diharapkan lebih menekankan keterampilan proses dan pembentukan dimensi Profil Pelajar Pancasila selama proses pembelajaran, khususnya dimensi bergotong royong, kreatif, dan bernalar kritis. Proyek merupakan salah satu media dalam pengembangan keterampilan proses dan sikap ilmiah seperti objektif, jujur, kritis, dan terbuka sehingga perlu mendapat perhatian khusus. Pada akhir pembelajaran, guru diharapkan mampu menanamkan pentingnya protokol kesehatan, vaksinasi, dan hidup sehat.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA/MA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)

BAB 3



Teori Evolusi

● A. Pendahuluan

Secara umum, teori evolusi berisi berbagai pandangan yang membahas asal-usul kehidupan makhluk hidup. Topik asal-usul kehidupan ini selalu menjadi perdebatan beberapa kelompok ilmiah maupun agama. Pemahaman yang kuat terhadap perkembangan teori evolusi dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi makhluk hidup. Dengan mengetahui asal-usul suatu spesies maka akan semakin mudah merumuskan hubungan kekerabatannya dengan spesies lain. Perkembangan teori asal-usul kehidupan, tentu saja dipengaruhi oleh latar belakang dan cara pandang pengusul teori. Oleh sebab itu, dalam mempelajari topik teori evolusi ini sangat diperlukan kemampuan literasi dan analisis yang kuat.

Setelah mempelajari Bab III Evolusi, peserta didik diharapkan dapat:

1. menjelaskan berbagai teori terkait asal-usul makhluk hidup.
2. menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi dan disertai dengan bukti-bukti adanya evolusi.
3. menghubungkan prinsip adaptasi dan seleksi alam dengan mekanisme evolusi.
4. menganalisis prinsip *genetic drift* dan *gene flow* dengan mekanisme evolusi.
5. membuktikan perubahan frekuensi gen melalui hukum Hardy Weinberg.

● B. Skema Pembelajaran

Subbab: A. Definisi Evolusi Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Melakukan kegiatan observasi sebuah gambar yang diberikan untuk menemukan kemiripan dan perbedaan fenotip sebagai akibat dari genotip	Variasi, genotip, dan fenotip	Buku siswa pada Aktivitas 3.1	Buku siswa Bab II Genetik dan Pewarisan Sifat
Mengamati gambar evolusi kuda dan membuat kesimpulan definisi dari evolusi	Evolusi dan perubahan	Buku siswa subbab Definisi Evolusi	
Melakukan pengamatan melalui sebuah gambar terkait mekanisme evolusi pada makhluk hidup	Mekanisme evolusi dan variasi	Buku siswa Aktivitas 3.2	

Subbab: B1. Teori Evolusi PraDarwin**Alokasi waktu: 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran**

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Membaca paragraf penjelasan sejarah perkembangan evolusi	Perkembangan evolusi	Buku siswa subbab Perkembangan Teori Evolusi	
Melakukan kegiatan eksperimen dan percobaan munculnya belatung pada roti	Percobaan abiogenesis	Buku siswa anak subbab Teori Evolusi PraDarwin bagian teori abiogenesis	
Melakukan percobaan teori biogenesis sesuai teori Francesco Redi serta membuat kesimpulan asal-usul kehidupan paling mungkin dari percobaan yang dilakukan	Percobaan biogenesis	Buku siswa pada Aktivitas 3.4	
Membaca teori evolusi menurut para ahli penganut teori biogenesis dan membuat kesimpulan dari postulat teori biogenesis	Evolusi dan biogenesis	Buku siswa anak subbab Teori Evolusi PraDarwin bagian Teori Biogenesis	
Mengkomunikasikan hasil kesimpulan analisis terhadap teori evolusi biogenesis melalui kegiatan presentasi	Evolusi biogenesis	Buku siswa pada Aktivitas 3.5	
Membaca dan memahami penjelasan mekanisme teori evolusi kimia dan sejarah munculnya sel eukariot dari prokariot	Evolusi kimia, sel prokariot dan sel eukariot	Buku siswa anak subbab Teori Evolusi PraDarwin bagian Teori Evolusi Kimia dan Teori dari Prokariotik ke Eukariotik	
Melakukan kegiatan eksplorasi dan analisis perkembangan jerapah melalui gambar sesuai teori evolusi Lamarck	Mekanisme evolusi, adaptasi, dan teori evolusi Lamarck	Buku siswa pada Aktivitas 3.6	

Subbab: B2. Teori Evolusi Darwin**Alokasi waktu: 5 kali pertemuan/10 jam pelajaran**

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Membaca sejarah perkembangan teori evolusi Darwin	Sejarah evolusi Darwin	Buku siswa pada anak subbab Perkembangan Teori Evolusi bagian Sejarah Perjalanan dan Pokok Pikiran Darwin	
Mengamati variasi paruh burung finch dan membuat kesimpulan faktor penyebab perbedaan paruh burung finch	Teori Darwin, paruh burung finch	Buku siswa pada Aktivitas 3.7	
Mengamati dan membuat kesimpulan terhadap mekanisme yang terjadi pada perkembangan jerapah melalui gambar sesuai teori Darwin	Mekanisme evolusi menurut Darwin dan adaptasi	Buku siswa pada Aktivitas 3.8	
Menganalisis dan mengkomunikasikan faktor penyebab perubahan dan perbedaan warna pada kupu-kupu <i>Biston betularia</i>	Mekanisme evolusi menurut Darwin dan seleksi alam	Buku siswa pada Aktivitas 3.9	
Menganalisis perilaku seksual pada merak jantan sebagai bagian dari mekanisme seleksi alam	Mekanisme evolusi, seleksi alam, dan isolasi seksual	Buku siswa pada Aktivitas 3.10	
Melakukan kegiatan literasi dan mengkomunikasikan hasil literasi dalam bentuk poster terkait inovasi teknologi dalam kaitannya sebagai seleksi buatan atau artifisial	Mekanisme evolusi dan seleksi buatan	Buku siswa pada Aktivitas 3.12	
Membaca dan memahami perubahan frekuensi gen dalam sebuah populasi yang dijelaskan melalui hukum Hardy Weinberg	<i>Gene pool</i> dan Hukum Hardy Weinberg	Buku siswa pada anak sub bab Perkembangan Teori Evolusi bagian hukum Hardy Weinberg dan mekanisme mikroevolusi	

Menerapkan hukum Hardy Weinberg dalam beberapa kasus dan menghitung besar perubahan frekuensi gen dalam sebuah populasi	Hukum Hardy Weinberg	Buku siswa pada Aktivitas 3.15	
Membaca dan menganalisis kisah tentang munculnya koloni orang Inggris di Tristan da Cunha sebagai salah satu dampak mekanisme evolusi efek pendiri dan <i>genetic drift</i>	Mekanisme evolusi, efek pendiri, dan <i>genetic drift</i>	Buku siswa pada Aktivitas 3.16	
Mengamati dan menganalisis beberapa gambar yang disajikan untuk mengetahui pengaruh efek leher botol sebagai mekanisme evolusi	Mekanisme evolusi dan efek leher botol	Buku siswa pada Aktivitas 3.17	
Membaca artikel yang disediakan tentang faktor penyebab habisnya variasi genetik anjing laut gajah utara	Variasi genetik dan kepunahan	Buku siswa pada kegiatan Tahukah Kamu	
Mengamati berbagai variasi dalam spesies serupa dan mengisi hasil pengamatan dalam tabel yang disediakan	Bukti-bukti evolusi serta kemiripan fenotip dan genotip	Buku siswa pada Aktivitas 3.19	
Mengamati dogma genetik pada kupu-kupu berwarna gelap dan terang serta menuliskan kesimpulan penyebab dari perbedaan warna tersebut	Variasi dalam individu dan bukti evolusi Darwin	Buku siswa pada bagian materi Bukti Evolusi: Variasi dalam individu	
Membaca penjabaran materi terkait fosil sebagai bukti evolusi dan melakukan kegiatan literasi terkait evolusi pada manusia yang diperlihatkan melalui perkembangan fosil manusia	Bukti-bukti evolusi dan fosil	Buku siswa pada bagian materi Bukti Evolusi: Fosil dan Aktivitas 3.20	

Mengamati kemiripan homologi dan analogi berbagai spesies di lingkungan sekitar dan melalui gambar	Bukti-bukti evolusi, homologi, dan analogi	Buku siswa pada bagian materi Bukti Evolusi: Homologi dan analogi organ tubuh	
Mengamati dan menganalisis gambar perkembangan embrio beberapa spesies	Bukti evolusi, kemiripan perkembangan embrionik	Buku siswa pada bagian materi Bukti Evolusi: Perbandingan embriologi	
Melakukan kegiatan literasi terkait organ sisa yang tidak memiliki fungsi pada tubuh manusia	Bukti-bukti evolusi dan organ sisa	Buku siswa pada Aktivitas 3.21	
Menganalisis hubungan kemiripan materi genetik antarspesies dengan kedekatan kekerabatan makhluk hidup yang dinyatakan dengan pohon filogeni	Bukti-bukti evolusi dan kemiripan materi genetik	Buku siswa pada Aktivitas 3.22	

Subbab: B3. Teori Evolusi PascaDarwin
Alokasi waktu: 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Membaca dan memahami teori evolusi sintesis	Teori evolusi sintesis	Buku siswa pada materi Teori Evolusi Sintesis	
Membaca dan memahami teori evolusi dalam krisis	Teori evolusi dalam krisis	Buku siswa pada materi Teori Evolusi Dalam Krisis	
Menganalisis setiap teori yang muncul setelah teori Darwin dan mengkomunikasikan argumen pribadi terkait masing-masing teori	Teori evolusi pasca Darwin	Buku siswa pada Aktivitas 3.24	

Panduan Pembelajaran Bab III Evolusi

Pertemuan Pertama

Subbab 1: Definisi Evolusi

Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat memahami hubungan antara genotip, fenotip, serta hubungan kekerabatan spesies.
2. Peserta didik dapat menjelaskan pengertian evolusi.
3. Peserta didik dapat menganalisis berbagai jenis proses evolusi beserta contohnya.
4. Peserta didik dapat menjelaskan proses evolusi yang terjadi dalam jutaan tahun.

Pengetahuan prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari keanekaragaman tingkat gen.
2. Peserta didik telah mempelajari hubungan antara genotip dan fenotip.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk menganalisis gambar burung maleo dan membandingkannya dengan ayam.
2. Minta peserta didik memberikan pendapat pribadi terkait gambar yang diperlihatkan dengan menjawab pertanyaan berikut.
 - a. Apakah keduanya merupakan spesies yang sama atau berbeda.
 - b. Mengapa burung maleo memiliki ciri yang sangat mirip dengan ayam pada umumnya?
3. Arahkan peserta didik untuk membaca artikel tentang burung maleo yang endemik di Sulawesi.
4. Ajak peserta didik mengingat kembali makna keanekaragaman tingkat gen dan definisi dari spesies.

5. Dampingi peserta didik dalam membuat kesimpulan mengenai adanya hubungan erat antara genotip dan fenotip.
6. Arahkan peserta didik untuk mengamati keanekaragaman spesies anjing di sekitar mereka. Tunjukkan beberapa gambar atau beberapa video terkait keanekaragaman spesies. Lalu, arahkan peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.1 pada buku siswa.
7. Tuntun peserta didik untuk menemukan definisi evolusi dengan mengerjakan Aktivitas 3.2
8. Tuntun peserta didik untuk menafsirkan asal-usul kehidupan dengan memperlihatkan gambar pohon kehidupan dan mengerjakan Aktivitas 3.3 pada buku siswa.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati lingkungan sekitar dan melihat berbagai makhluk hidup yang mirip tetapi berbeda spesies.
2. Arahkan peserta didik untuk memberikan pendapat pribadi dengan menjawab pertanyaan berikut.
 - a. Apa yang membuat kedua spesies tersebut memiliki kemiripan?
 - b. Apakah kedua organisme tersebut dapat disebut satu spesies? Mengapa?
3. Arahkan peserta didik untuk mengingat kembali pembelajaran pada Bab II Genetika dan Pewarisan Sifat yang membahas hubungan antara genotip dan fenotip.
4. Arahkan peserta didik untuk mengamati beberapa gambar atau berbagai keanekaragaman anjing di sekitar mereka serta mengisi hasil pengamatan seperti pada Aktivitas 3.1.
5. Tuntun peserta didik untuk menemukan definisi evolusi dengan mengerjakan Aktivitas 3.2
6. Tuntun peserta didik untuk menafsirkan dasar kehidupan pertama kali dengan memperlihatkan gambar asal-usul kehidupan. Tekankan bahwa evolusi merupakan proses yang sangat panjang dengan sel prokariot sebagai sel pertama.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik membaca artikel terkait burung maleo yang dianggap lebih mirip ayam daripada burung serta tuntun peserta didik untuk berani mengemukakan pendapat.

2. Ajak peserta didik melakukan kegiatan eksplorasi dan berani berkomunikasi dengan mengerjakan Aktivitas 3.1.
3. Ajak peserta didik untuk melakukan kegiatan pengamatan melalui Aktivitas 3.2 untuk mendefinisikan arti dari evolusi
4. Ajak peserta didik mengamati Gambar 3.4 dan mengerjakan Aktivitas 3.3.
5. Tekankan pada peserta didik bahwa setiap spesies memiliki kode genetik yang unik, sehingga tidak ada satupun spesies yang memiliki kesamaan sepenuhnya

— Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik mengamati kembali pohon genetik yang memperlihatkan kekerabatan antarmakhluk hidup. Berdasarkan gambar tersebut, tunjukkan pada peserta didik bahwa pohon genetik yang diamati disusun berdasarkan kemiripan satu organisme dengan organisme lainnya.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa yang sudah kalian pahami dari topik bahasan ini?
2. Bagaimanakah kalian mendefinisikan evolusi?
3. Hal apa yang belum kalian pahami pada topik bahasan ini?

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Tuntun peserta didik mencari tahu lebih banyak lagi mengenai fakta-fakta tentang evolusi melalui kegiatan literasi di internet atau sumber buku lainnya.
2. Minta peserta didik membuat rangkuman pemahaman dari uraian materi yang telah diberikan.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.1

Hasil pengamatan Gambar 3.2.

Karakter	Persamaan	Perbedaan
Telinga	Memiliki dua telinga	Bentuk telinga panjang Bentuk telinga pendek
Rambut	Memiliki rambut di sekujur tubuh	Warna rambut setiap anjing berbeda. Ada berwarna putih, coklat, dan hitam
Pola warna	Setiap rambut memiliki pola warna	Pola setiap warna yang dimiliki berbeda. Ada yang bergaris rapat dan ada yang tersebar
Mata	Semua variasi memiliki dua mata dan berwarna gelap	Bentuk lipatan mata setiap spesies berbeda.
Warna hidung	Semua anjing pada gambar memiliki hidung	Warna hidung pada masing-masing anjing berbeda beda

Hasil diskusi yang diharapkan dari pengamatan yaitu setiap fenotip yang terlihat dipengaruhi oleh genotip.

Aktivitas 3.2

- Hasil pengamatan pada Gambar 3.3 memperlihatkan perubahan ukuran kuda.
- Eohippus memiliki ukuran tubuh kecil setinggi 0,4 m. Jutaan tahun berikutnya, ukuran tubuh tersebut bertambah. Hingga fosil kuda terakhir ditemukan berusia 1 juta tahun yang lalu (jenis *Equus*) menunjukkan ukuran tubuh setinggi 1,6 m.
- Perbedaan kedua kuda tersebut adalah ukuran tubuh kuda. Kuda yang hidup sekitar 56 juta tahun lalu lebih kecil daripada kuda yang diperkirakan hidup satu juta tahun yang lalu hingga kuda modern saat ini.
- Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, terjadi perubahan ukuran tinggi tubuh kuda Eohippus hingga kuda modern yang biasa kita lihat sekarang. Hal ini mungkin terjadi karena kuda harus menyesuaikan diri dengan kebutuhan lingkungan dan beberapa faktor eksternal, seperti cuaca.

Kesimpulan:

Evolusi merupakan proses perubahan pada makhluk hidup yang menunjukkan perkembangan dan terjadi dalam kurun waktu yang sangat panjang.

Subbab 2.1 Teori Evolusi Pra-Darwin
Alokasi waktu: 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Pertemuan Kedua

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menjelaskan perkembangan teori evolusi.
2. Peserta didik dapat memaparkan teori-teori abiogenesis.
3. Peserta didik dapat memaparkan perkembangan teori biogenesis sebagai bantahan terhadap teori abiogenesis.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah memahami definisi evolusi dan mekanisme evolusi.
2. Peserta didik telah mempelajari bahwa dalam sejarah perkembangan makhluk hidup diawali oleh sel prokariot yang disebut *ancestor of life*.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk melakukan kegiatan eksplorasi sesuai dengan petunjuk pada Aktivitas 3.3
2. Arahkan peserta didik berdiskusi dengan mengajukan pertanyaan berikut:
 - a. Jika sel prokariot merupakan *ancestor of life* maka dari manakah sel prokariot tersebut pertama kali muncul?
 - b. Jika sel prokariot dalam jutaan bahkan milyaran tahun mengalami perkembangan menjadi sel yang lebih kompleks, apakah memungkinkan evolusi bergerak mundur?
3. Ajak peserta didik membaca dan mengamati Gambar 3.5 mengenai perkembangan teori terkait mekanisme evolusi.
4. Tuntun peserta didik membuat kesimpulan dari teori abiogenesis
5. Ajak peserta didik memberikan argumen pribadi sebagai sanggahan terhadap teori abiogenesis sehingga muncul teori biogenesis.

6. Arahkan peserta didik melakukan kegiatan Aktivitas 3.4 dan mengisi serta memberikan analisis sesuai petunjuk di buku siswa.
7. Tuntun peserta didik melakukan kegiatan literasi untuk melanjutkan pembahasan teori-teori pendukung biogenesis serta membuat kesimpulan dari teori biogenesis.
8. Arahkan peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.5 sebagai rangkuman dari pembahasan teori biogenesis.

Alternatif 2 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk mengamati gambar evolusi makhluk hidup pada Gambar 3.4
2. Berdasarkan gambar yang diamati, peserta didik dituntun untuk mengajukan pertanyaan yang mungkin muncul. Setiap pertanyaan yang diajukan akan didiskusikan di dalam kelas secara bersama-sama.
3. Ajak peserta didik untuk membaca perkembangan teori evolusi dari sumber terpercaya melalui buku atau internet.
4. Tuntun peserta didik membuat percobaan rendaman jerami yang disimpan beberapa hari di dalam sebuah toples. Kemudian, ajak peserta didik mengamati satu tetes air jerami di bawah mikroskop. Berdasarkan hasil pengamatan, peserta didik dituntun memikirkan dari mana asal-usul mikroorganisme yang muncul dari air rendaman jerami tersebut.
5. Tuntun peserta didik menemukan jawaban yang sesuai dengan teori abiogenesis. Namun, minta peserta didik untuk memberikan juga argumen yang menentangnya sebagai jembatan mengenal teori abiogenesis.
6. Ajak peserta didik berdiskusi terkait kelemahan teori abiogenesis dan perkembangan teori biogenesis.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik untuk berdiskusi dengan panduan pertanyaan yang disediakan (alternatif 1).
2. Ajak peserta didik untuk melakukan percobaan pengamatan mikroorganisme pada air rendaman jerami dan menganalisis asal-usul munculnya mikroorganisme tersebut (alternatif 2).
3. Tuntun peserta didik mengajukan pendapat argumen pribadi yang mengarah pada keberatan terhadap teori abiogenesis.

4. Tuntun peserta didik untuk melakukan percobaan biogenesis sesuai teori Francesco Redi.
5. Tuntun peserta didik membuat kesimpulan dari pokok-pokok pikiran biogenesis dan mengerjakan Aktivitas 3.5 pada alternatif 1.

— Aplikasi Konsep

Tuntun peserta didik untuk melihat kembali tabel hasil Aktivitas 3.5 dan menyimpulkan bahwa setiap teori memiliki kelemahan masing-masing serta dalam perkembangannya memiliki tujuan untuk saling melengkapi.

— Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa yang sudah kalian pahami dari topik bahasan perkembangan teori abiogenesis dan biogenesis?
2. Bagaimana kalian mendefinisikan teori abiogenesis dan biogenesis?
3. Hal apa yang belum kalian pahami pada topik bahasan perkembangan teori abiogenesis dan biogenesis?

— Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Tuntun peserta didik mencari tahu lebih banyak lagi fakta-fakta tentang evolusi melalui kegiatan literasi di internet atau sumber buku lainnya.
2. Minta peserta didik membuat rangkuman pemahaman dari uraian materi yang telah diberikan.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.3

Berdasarkan hasil pengamatan dan eksplorasi, berikut hasil yang diharapkan dari peserta didik.

Hasil Pengamatan	Saya berhasil mengamati	
	Ya	Tidak
Saya melihat bahwa makhluk hidup mula-mula berasal dari satu sel tunggal sebagai <i>common ancestor</i> yang selalu dilestarikan.	v	

Saya mengamati bahwa makhluk hidup berkembang dari spesies yang sederhana menjadi semakin kompleks seiring berjalannya waktu.	v	
Saya mengamati bahwa makhluk hidup dikelompokkan dalam tiga domain yang berkembang dari <i>common ancestor</i> .	v	
Saya mengamati bahwa setiap spesies yang memiliki kesamaan ciri dalam pohon filogeni disusun saling berdekatan.	v	

Dari hasil pengamatan gambar, dapat diprediksi bahwa garis waktu evolusi masih bekerja hingga saat ini. Hal ini juga akan terjadi pada manusia yang akan terus beradaptasi dengan berbagai faktor agar mampu bertahan hidup.

Aktivitas 3.4

Berikut hasil pengamatan yang memperlihatkan perubahan pada daging dalam setiap toples.

Toples yang Diamati	Hasil Pengamatan Perubahan Daging pada Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Toples I (dibiarkan terbuka)	TB	TB	Mulai berkerut	Berbau busuk	Berbau busuk	Ada belatung pada daging	Ada belatung pada daging
Toples II (ditutup dengan kain kasa)	TB	TB	TB	Mulai berkerut	Berbau busuk	Ada belatung pada permukaan kasa	Ada belatung pada permukaan kasa
Toples III (ditutup dengan rapat)	TB	TB	TB	TB	Berkerut	Berkerut	Berkerut dan berbau busuk

TB: Tidak Berubah

- Setelah dilakukan pengamatan selama tujuh hari terlihat bahwa:
 - Pada toples pertama: daging semakin mengerut, berbau busuk, dan ada banyak belatung di atas permukaan daging.
 - Pada toples kedua: daging mengerut, mengeluarkan bau busuk, dan ada belatung di atas permukaan kain kasa.
 - Pada toples ketiga: daging mengalami pengerutan dan mengeluarkan bau busuk, namun tidak ada belatung di sekitar permukaan daging.
- Belatung yang terdapat pada toples 1 dan 2, diperkirakan datang dari lalat yang hinggap di dalam daging maupun di permukaan kasa dikarenakan aroma busuk daging yang tersebar di udara.

- c. Pada toples ketiga tidak ditemukan belatung, karena toples tertutup rapat sehingga bau busuk daging tidak tersebar ke udara dan tidak memicu munculnya lalat untuk hinggap dan bertelur.
- d. Kesimpulan: Belatung yang muncul dalam toples percobaan muncul karena adanya aroma busuk dari daging segar yang terdapat di dalam toples sehingga menyebabkan lalat hinggap pada toples sumber aroma busuk

Aktivitas 3.5

1. Tabel kesimpulan teori evolusi biogenesis-abiogenesis

Uraian	Van Leuwenhook	Needham	Francesco Redi	Lazzaro Spallanzani	Louis Pasteur
Bahan	Air rendaman jerami	Air kaldu	Daging segar	Air kaldu	Air kaldu
Percobaan yang dilakukan	Mengamati air rendaman jerami di bawah mikroskop	Mengamati perubahan air kaldu	Mengamati perubahan daging dengan tiga perlakuan, yaitu daging dilekkan pada toples terbuka, toples ditutup kain kasa, dan toples ditutup rapat	Mengamati perubahan warna air kaldu yang telah dipanaskan dengan dua perlakuan, yaitu labu dibiarkan terbuka dan labu ditutup rapat	Mengamati perubahan air kaldu yang telah di sterilisasi menggunakan labu leher angsa yang dimiringkan sehingga terdapat air kaldu yang terjebak di bagian leher labu
Hasil	Menemukan mikroorganisme dari air rendaman jerami	Air kaldu menjadi keruh akibat keberadaan mikroorganisme	Muncul belatung pada toples pertama dan kedua yang berasal dari telur lalat yang hinggap	Air kaldu pada labu terbuka menjadi keruh akibat kontaminasi dari luar	Air kaldu yang terjebak pada bagian leher labu ketika dimiringkan berubah warna menjadi keruh. Adapun air kaldu di bagian dasar labu tetap berwarna jernih

Kelemahan	Tidak menjelaskan mekanisme munculnya makhluk hidup	Tidak menjelaskan mekanisme munculnya makhluk hidup	Tidak melakukan sterilisasi terlebih dahulu pada daging dan toples	Belum mampu menjelaskan asal-usul munculnya makhluk hidup pertama	Mikroorganisme yang menyebabkan air kaldu menjadi keruh tidak berasal dari air kaldu melainkan dari organisme lain yang terdapat di udara
-----------	---	---	--	---	---

- Jawaban yang diharapkan dari peserta didik, yaitu memilih bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

Pertemuan Ketiga

Tujuan Pembelajaran

- Peserta didik dapat menjelaskan teori evolusi kimia, teori asal-usul dari laut ke darat dan teori endosimbiosis.
- Peserta didik dapat memaparkan bukti-bukti dari teori evolusi kimia, teori asal-usul dari laut ke darat, dan teori endosimbiosis.
- Peserta didik dapat menganalisis mekanisme evolusi berdasarkan teori Lamarck.

Pengetahuan Prasyarat

- Peserta didik telah memahami teori evolusi biogenesis.
- Peserta didik telah mempelajari kelebihan dan kelemahan dari teori evolusi abiogenesis dan biogenesis.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Tuntun peserta didik untuk mengajukan pertanyaan terkait mengapa teori evolusi biogenesis belum cukup digunakan untuk menjabarkan asal-usul kehidupan.
2. Ajak peserta didik mengingat kembali Aktivitas 3.5 dan menghubungkannya dengan pengamatan Gambar 3.10.
3. Tuntun peserta didik untuk membuat kesimpulan terkait asal-usul kehidupan berdasarkan teori evolusi kimia dan endosimbiosis prokariot.
4. Ajak peserta didik mengamati siklus hidup katak dan memikirkan apakah fakta tersebut dapat menjadi salah satu bukti bahwa pada mulanya kehidupan berasal di laut dan berkembang ke darat. Hal apa yang menjadikan makhluk hidup harus berpindah dari laut ke darat?
5. Arahkan peserta didik melakukan Aktivitas 3.6 untuk mengetahui salah satu mekanisme yang dilakukan makhluk hidup dalam evolusi.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik dan tuntun untuk berpikir lebih kritis.
 - a. Apa yang menjadi asal mula terbentuknya makhluk hidup?
 - b. Jika teori biogenesis diterima, dari manakah makhluk hidup pertama kali?
2. Tuntun peserta didik untuk membaca pemaparan materi yang menceritakan endosimbiosis sel prokariot menjadi eukariot.
3. Ajukan kepada peserta didik pertanyaan mengenai bagaimana makhluk hidup di darat pertama kali bisa muncul jika evolusi kimia pertama kali terbentuk di dasar laut.
4. Tuntun peserta didik untuk mengamati jerapah melalui sebuah gambar, secara langsung atau video. Kemudian ajukan pertanyaan berikut.

Apakah sejak awal jerapah sudah berleher panjang? Ataukah sebelumnya jerapah berleher pendek, lalu semakin bertambah panjang seiring berjalannya waktu?

5. Tuntun peserta didik untuk berani mengajukan pendapatnya terkait pertanyaan yang diajukan.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Tuntun peserta didik untuk memahami evolusi kimia sebagai salah satu solusi untuk menjawab pertanyaan terkait asal-usul kehidupan pertama kali.
2. Tuntun peserta didik membuat kesimpulan tentang mekanisme asal-usul kehidupan di darat, jika evolusi kimia pertama kali terjadi di dasar laut.
3. Tuntun peserta didik membuat kesimpulan tentang mekanisme evolusi yang diberikan Lamarck melalui analogi perkembangan leher jerapah.

— Aplikasi Konsep

Ajak peserta didik untuk melihat kembali hasil kesimpulan pada Aktivitas 3.6 dan menghubungkan konsep *use and diuse* yang dikemukakan Lamarck dalam perkembangan organ-organ sisa pada manusia.

/// Refleksi Pembelajaran ///

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa yang sudah kalian pahami dari topik bahasan perkembangan teori evolusi kimia?
2. Bagaimana pokok pikiran Lamarck terhadap evolusi?
3. Hal apa yang belum kalian pahami pada topik bahasan teori evolusi kimia?

— Tindak Lanjut

1. Tuntun peserta didik mencari tahu lebih banyak lagi teori yang dapat dijadikan pendukung dari teori abiogenesis.
2. Minta peserta didik membuat rangkuman pemahaman dari uraian materi yang telah diberikan.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.6

1. Pengamatan lingkungan
 - a. Bisa ya atau tidak
 - b. Bisa ya atau tidak
2. Pengamatan gambar
 - a. Pada mulanya, terdapat jerapah berleher pendek. Akan tetapi, semakin bertambahnya waktu, jerapah berubah menjadi berleher panjang.
 - b. Hal ini sejalan dengan perubahan tinggi pohon yang menjadi makanan jerapah. Ketika pohon sumber makanan jerapah semakin tinggi maka leher jerapahpun semakin tinggi sehingga jerapah tetap dapat memperoleh makanan. Inilah alasan mengapa pada saat ini, jerapah yang dapat diamati secara keseluruhan berleher panjang.

Subbab 2.3 : Teori Evolusi Darwin

Alokasi waktu : 5 kali pertemuan/8 jam pelajaran

Pertemuan keempat

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat memahami sejarah perjalanan dan pokok pikiran Darwin terkait evolusi.
2. Peserta didik dapat menganalisis perbedaan evolusi Lamarck dan Darwin tentang asal-usul jerapah berleher panjang.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mengetahui mekanisme evolusi yang disampaikan oleh Lamarck.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Tuntun peserta didik melakukan kegiatan literasi untuk mencari informasi terkait kehidupan Darwin dan perjalanannya hingga menemukan pokok-pokok pikiran evolusi Darwin.
2. Arahkan peserta didik membagikan hasil kegiatan literasi yang telah dilakukan di dalam kelas.
3. Minta peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.7 untuk menemukan mekanisme evolusi yang diusulkan Darwin.
4. Arahkan peserta didik untuk melakukan Aktivitas 3.8.
5. Tuntun peserta didik membuat kesimpulan sementara terkait pokok-pokok pikiran Darwin.
6. Arahkan peserta didik membentuk sebuah kelompok belajar untuk mengerjakan Aktivitas 3.9.

Alternatif 2 >>>>

1. Tuntun peserta didik membaca materi sejarah perjalanan Darwin dan pokok-pokok pikiran Darwin.
2. Berikan peserta didik pertanyaan-pertanyaan untuk mengetahui sejauh mana pemahaman peserta didik terkait perjalanan evolusi Darwin.
3. Perlihatkan video animasi keanekaragaman burung kepada peserta didik dan ajukan beberapa pertanyaan berikut.
 - a. Mengapa setiap jenis burung memiliki bentuk paruh yang berbeda-beda?
 - b. Apa faktor yang menyebabkan perbedaan tersebut dan apa tujuan perbedaannya?
4. Perlihatkan gambar evolusi jerapah berleher panjang Lamarck dan jerapah berleher panjang Darwin. Kemudian, tuntun peserta didik untuk menemukan perbedaan keduanya.
5. Berikan studi kasus tentang perbedaan jumlah kupu-kupu bersayap gelap dan cerah pada masa sebelum dan setelah revolusi industri.
6. Tuntun peserta didik menyampaikan pendapatnya terkait penyebab dari fakta tersebut.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Tuntun peserta didik mengamati perbedaan paruh berbagai jenis burung dan melakukan eksplorasi terkait penyebab perbedaan tersebut.
2. Tuntun peserta didik menemukan mekanisme evolusi Darwin melalui peristiwa munculnya jerapah berleher panjang.
3. Tuntun peserta didik menemukan perbedaan mekanisme evolusi Lamarck dan Darwin dengan membedakan proses terbentuknya jerapah berleher panjang.
4. Tuntun peserta didik menemukan mekanisme evolusi melalui Aktivitas 3.9.

— Aplikasi Konsep

Arahkan peserta didik untuk memahami bahwa makhluk hidup memiliki kemampuan untuk beradaptasi sesuai dengan lingkungannya.

/// Refleksi Pembelajaran ///

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Bagaimana perbandingan teori evolusi Lamarck dan Darwin yang sudah dipelajari?
2. Hal apa yang belum kalian pahami dari penjabaran materi ini?

— Tindak Lanjut

1. Arahkan peserta didik mencari tahu lebih jauh terkait sejarah perjalanan Charles Darwin hingga menemukan pokok-pokok pikiran terkait evolusi.
2. Tuntun peserta didik untuk membuat ringkasan mekanisme evolusi Darwin.

/// Kunci Jawaban ///

Aktivitas 3.7

1. Berdasarkan Gambar 3.12 terlihat perbedaan bentuk paruh burung finch. Salah satu penyebab perbedaan bentuk paruh tersebut, yaitu adanya perbedaan tempat tinggal dan jenis makanan.
2. Mekanisme perubahan bentuk paruh tersebut karena adanya upaya untuk bertahan hidup sehingga burung menyesuaikan dengan jenis makanan yang tersedia.

Aktivitas 3.8

1. Pengamatan lingkungan
 - a. Bisa ya atau tidak
 - b. Bisa ya atau tidak
2. Pengamatan gambar
 - a. Fakta-fakta yang ditemukan berdasarkan gambar yang diamati, yaitu terdapat dua jenis jerapah. Pada awalnya, ada jerapah berleher panjang dan berleher pendek. Kemudian, jerapah berleher pendek mati dan punah karena tidak mampu menjangkau daun-daun dari pohon yang tinggi. Adapun jerapah berleher panjang tetap dapat bertahan hidup.
 - b. Pada saat ini, jerapah memiliki leher panjang karena semua jerapah berleher pendek telah punah. Adapun jerapah berleher panjang mampu bertahan hidup sehingga sifat yang terus-menerus diwariskan, yaitu jerapah dengan leher panjang.
 - c. Perbedaan teori asal-usul jerapah berleher panjang milik Lamarck dan Darwin, yaitu sebagai berikut.

Lamarck menjelaskan bahwa pada awalnya semua jerapah berleher pendek, akan tetapi karena pepohonan semakin tinggi dan jerapah semakin sering menggunakan lehernya sehingga leher jerapah menjadi panjang. Lamarck mengusulkan teori *use and disuse* untuk mekanisme tersebut.

Adapun Darwin menjelaskan bahwa pada mulanya terdapat jerapah berleher pendek dan berleher panjang, akan tetapi karena pepohonan semakin tinggi sehingga yang mampu bertahan hidup adalah jerapah berleher panjang. Darwin menyebutnya dengan mekanisme adaptasi dan seleksi alam.

Aktivitas 3.9

Kupu-kupu bersayap cerah menjadi lebih sedikit dibandingkan kupu-kupu bersayap gelap setelah revolusi industri, dikarenakan kupu-kupu bersayap gelap lebih mudah beradaptasi dengan lingkungan sehingga kupu-kupu bersayap gelap tidak mudah dikenali oleh predator. Adapun kupu-kupu bersayap cerah lebih mudah dikenali oleh predator sehingga lama-kelamaan jumlah kupu-kupu bersayap cerah semakin sedikit.

Pertemuan kelima

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat memahami perbedaan seleksi alami dan seleksi buatan.
2. Peserta didik dapat menganalisis keseimbangan gen dalam populasi yang diperlihatkan dengan hukum Hardy-Weinberg.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari mekanisme evolusi Darwin tentang evolusi jerapah berleher panjang.
2. Peserta didik telah mempelajari bahwa fenotip dipengaruhi oleh genotip.

Tahapan Pembelajaran

— Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Minta peserta didik membaca kembali membaca hasil pengamatan Aktivitas 3.9. Tuntun mereka mengingat kembali faktor lingkungan yang berperan serta dalam perubahan jumlah kupu-kupu *Biston betularia* bersayap cerah.
2. Ajak peserta didik memahami berbagai jenis seleksi alam yang dapat memengaruhi perubahan jumlah jenis makhluk hidup.
3. Minta peserta didik membaca artikel pada *link* https://www.bbc.com/indonesia/majalah/2013/07/130725_iptek_peacock dan mengerjakan Aktivitas 3.10.
4. Tuntun peserta didik mengamati lingkungan sekitar dan kebiasaan manusia dalam hal budidaya tanaman.
5. Minta peserta didik melakukan eksplorasi dengan mengerjakan Aktivitas 3.11.
6. Arahkan peserta didik melakukan kegiatan literasi pada Aktivitas 3.12 secara berkelompok dan menyajikan hasilnya dalam sebuah karya berupa poster.
7. Tuntun peserta didik dengan mengajukan pertanyaan berikut.

- a. Apakah jumlah variasi fenotip dalam sebuah populasi atau ekosistem akan tetap sama dan seimbang?
- b. Apa faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan tersebut terjadi?
8. Minta peserta didik mengerjakan berbagai kasus perhitungan Hardy Weinberg pada Aktivitas 3.13.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian pernah mendengar tim medis menyampaikan bahwa sangat penting menghabiskan antibiotik?
 - b. Mengapa hal tersebut harus dilakukan dan apa tujuannya?
2. Tuntun peserta didik untuk memikirkan apakah mungkin jika kasus kupu-kupu *Biston betularia* menjadi berubah? Jumlah kupu-kupu *B. betularia* bersayap gelap lebih banyak dibanding yang bersayap cerah? Kira-kira hal yang bagaimana dapat menjadi pemicu kejadian tersebut?
3. Ajak peserta didik mengamati perilaku merak jantan dalam melakukan perkawinan. Kemudian, ajukan pertanyaan berikut.
 - a. Apakah perilaku merak jantan dalam melakukan perkawinan menyebabkan hingga saat ini semua merak memiliki bulu yang indah?
 - b. Apakah pernah ada merak yang hidup dengan bentuk bulu yang buruk?
4. Tuntun peserta didik melakukan kegiatan literasi untuk mencari tahu strategi yang digunakan dalam kegiatan budidaya. Ajukan pertanyaan berikut.
 - a. Apa alasan para petani atau peternak melakukan kegiatan budidaya?
 - b. Sifat apa yang ingin dikembangkan dan diperbanyak petani dan peternak dalam kegiatan budidaya?
 - c. Bagaimana hubungan antara kegiatan budidaya dengan nilai ekonomi?
5. Minta peserta didik melakukan kegiatan literasi dan menyajikan hasil karya kegiatan literasi terkait salah satu contoh hasil budidaya.
6. Tuntun peserta didik memahami bahwa evolusi terjadi dalam tingkat paling kecil, yaitu tingkat gen dengan mengubah kesetimbangan gen dalam sebuah populasi. Hal ini diperlihatkan dengan persamaan Hardy Weinberg.
7. Sajikan beberapa kasus sebagai aplikasi dari penerapan hukum Hardy Weinberg kepada peserta didik.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik menemukan contoh-contoh seleksi alami yang terjadi dalam makhluk hidup.
2. Tuntun peserta didik memahami tindakan-tindakan manusia yang dapat disebut sebagai seleksi buatan.
3. Ajak peserta didik membuktikan bahwa keseimbangan genotip di dalam suatu populasi sulit tercapai lewat penerapan hukum Hardy Weinberg.

— Aplikasi Konsep

1. Arahkan peserta didik untuk merumuskan berbagai akibat dan contoh seleksi alami dan seleksi buatan.
2. Arahkan peserta didik untuk memprediksi efek samping dari adanya seleksi alami maupun buatan terhadap keanekaragaman spesies dalam ekosistem.
3. Arahkan peserta didik untuk menerapkan hukum Hardy Weinberg dalam penentuan keseimbangan variasi gen.

/// Refleksi Pembelajaran ///

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Dari pertemuan ini, dapatkah kalian memahami perbedaan antara seleksi alami dan seleksi buatan?
2. Apakah kalian sudah mampu menerapkan hukum Hardy Weinberg untuk memperlihatkan adanya perubahan keseimbangan dalam sebuah *gene pool*?
3. Dari penjabaran materi ini, hal-hal apa yang masih belum kalian pahami?

— Tindak Lanjut

1. Peserta didik dituntun melakukan kegiatan literasi lebih banyak terkait seleksi alam dan seleksi buatan.
2. Peserta didik dituntun mengerjakan kasus-kasus penerapan hukum Hardy Weinberg.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.11

1. Hasil eksplorasi dan literasi yang dikerjakan peserta didik diharapkan memuat informasi terkait teknik budidaya, pemilihan bibit yang akan dibudidaya, dan alasan melakukan budidaya.
2. Berdasarkan informasi yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa alasan manusia melakukan budidaya, yaitu untuk mendapatkan bibit unggul. Bibit unggul ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan keuntungan maksimal bagi manusia serta memiliki daya jual dan nilai ekonomi yang tinggi.

Aktivitas 3.12

1. Hasil literasi yang diharapkan memuat satu contoh pembudidayaan yang sering dilakukan oleh manusia. Misalnya, budidaya lele dan anggrek.
2. Hasil kegiatan disusun dalam sebuah poster.
3. Jawaban yang diharapkan atas informasi yang telah diperoleh melalui kegiatan literasi dan presentasi, yaitu:
 - a. Tujuan dilakukannya kegiatan seleksi buatan untuk menyeleksi sifat yang diinginkan oleh manusia dan meminimalisir munculnya sifat yang dianggap merugikan.
 - b. Hasil dari suatu kegiatan seleksi buatan, yaitu memperoleh sifat unggul yang dianggap menguntungkan.
 - c. Keuntungan yang diperoleh dari kegiatan seleksi buatan, yaitu semakin banyaknya jumlah spesies yang diharapkan sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal serta varietas hasil seleksi buatan dianggap lebih unggul dari varietas lainnya sehingga hasil seleksi buatan memiliki nilai jual lebih tinggi.
 - d. Kegiatan seleksi buatan ini tentu saja mengganggu kesetimbangan variasi ekosistem, secara tidak langsung kegiatan seleksi buatan akan memperbanyak varietas yang dianggap unggul oleh manusia dan menurunkan varietas yang tidak unggul.

Aktivitas 3.13

1. Jumlah populasi: 1000 orang

Golongan darah B: 150 orang

Golongan darah O: 490 orang

Ditanya: Berapakah jumlah orang dengan golongan darah A heterozigot?

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pr + q^2 + 2qr + r^2$$

$$I^A I^A + 2I^A I^O + I^B I^B + 2I^B I^O + I^O I^O$$

Frekuensi golongan darah O yaitu:

$$r^2 = \frac{490}{1000} = 0,49$$

$$r = \sqrt{0,49} = 0,7$$

Frekuensi golongan darah B + O

$$(q + r)^2 = \frac{150 + 490}{1000} = 0,64$$

$$q + r = \sqrt{0,64}$$

$$q + r = 0,8$$

Substitusi nilai r

$$q + 0,1 = 0,8$$

$$q = 0,7$$

$$p + q + r = 1$$

$$p + 0,1 + 0,7 = 1$$

$$p = 1 - (0,1 + 0,7)$$

$$p = 0,2$$

Frekuensi alel A heterozigot

$$\begin{aligned}
 I^A I^0 &= 2pr \\
 &= 2 \times 0,2 \times 0,67 \\
 &= 0,28
 \end{aligned}$$

Maka jumlah orang dengan golongan darah A heterozigot adalah
 $0,28 \times 1000 = 280$ orang

2. Diketahui: Individu perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*) sebesar 75% (T₂)

Individu tidak perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*) sebesar 25% (tt)

Ditanya: Perbandingan genotipe perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*) dan tidak perasa adalah

Jawab:

Persentase yang bukan perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*) yaitu $100\% - 75\% = 25\%$

Frekuensi bukan perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*)

$$tt = \frac{25}{100} = 0,25$$

$$q^2 = 0,25$$

$$q = \sqrt{0,25}$$

$$q = 0,5$$

$$p + q = 1$$

$$p = 1 - 0,5$$

$$p = 0,5$$

Perbandingan genotipe perasa pahit kertas PTC (*phenyl-thio-carbamide*) dan tidak perasa

TT : Tt : tt

$$p^2 : 2pq : q^2$$

$$0,5^2 : 2(0,5)(0,5) : 0,5^2$$

$$0,25 : 0,5 : 0,25$$

Pertemuan Keenam

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu menjelaskan berbagai mekanisme dalam evolusi yang terdiri atas *genetic drift* dan aliran gen.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mengetahui penerapan hukum Hardy Weinberg dalam perhitungan keseimbangan gen dalam suatu populasi.

Tahapan Pembelajaran

— Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati Gambar 3.18 dan mengkomunikasikannya.
2. Tuntun peserta didik untuk memahami salah satu mekanisme dalam *genetic drift*, yaitu adanya faktor pendiri. Kemudian, arahkan mereka untuk mengerjakan Aktivitas 3.14.
3. Tuntun peserta didik untuk memahami bahwa faktor lain yang menyebabkan *genetic drift*, yaitu adanya efek leher botol. Kemudian, arahkan mereka untuk mengerjakan Aktivitas 3.15.
4. Minta peserta didik membaca peristiwa punahnya variasi anjing laut gajah utara.
5. Arahkan peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.16 untuk menunjukkan tingkat pemahaman mereka terkait mekanisme yang terjadi dalam mikroevolusi.
6. Minta peserta didik mengamati Gambar 3.25. Kemudian, ajukan pertanyaan berikut untuk memahami faktor aliran gen.
 - a. Apa yang akan terjadi jika ada perpindahan spesies dari satu wilayah ke wilayah yang lain?
 - b. Apakah peristiwa perpindahan spesies ke wilayah lain akan berakibat pada perubahan fenotip yang ada di wilayah tersebut?

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik berdiskusi dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.
 - a. Di suatu desa terdapat 500 orang penduduk yang terdiri atas berbagai jenis varietas, misalnya memiliki warna kulit hitam. Di kemudian hari, desa tersebut kedatangan penduduk dari desa lain yang memiliki warna kulit putih. Jika dianggap terjadi perkawinan acak di wilayah tersebut, bagaimanakah varietas keturunan yang muncul?
 - b. Jika dianggap bahwa di wilayah tersebut terjadi bencana alam yang tidak diduga dan secara acak hanya 100 orang yang selamat dari jumlah total 500 penduduk. Prediksilah kemungkinan bagaimana kondisi varietas di wilayah tersebut?
2. Arahkan peserta didik melakukan kegiatan literasi untuk mencari tahu beberapa peristiwa punahnya suatu spesies tertentu akibat bencana alam atau perburuan liar.
3. Minta peserta didik menuliskan perbedaan antara faktor efek pendiri dan faktor efek leher botol di buku catatan masing-masing.
4. Tuntun peserta didik kembali pada peristiwa yang dikisahkan pada langkah 1a dan b. Tuntun mereka untuk memahami mekanisme aliran gen dari penjabaran yang diberikan.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Tuntun peserta didik untuk membangun pemahamannya sendiri tentang faktor efek pendiri dan faktor leher botol dapat memengaruhi keseimbangan *gene pool* melalui Aktivitas 3.14 dan 3.15.
2. Tuntun peserta didik untuk membuat kesimpulan perbedaan antara faktor efek pendiri dan faktor leher botol.
3. Tuntun peserta didik untuk membuat definisi dari aliran gen.

— Aplikasi Konsep

1. Peserta didik memahami berbagai jenis peristiwa yang dapat memengaruhi keseimbangan gen dalam sebuah *gene pool*.
2. Peserta didik dapat menjelaskan perbedaan dari berbagai faktor yang dianggap dapat menyebabkan mikroevolusi dalam sebuah populasi.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Dari pembelajaran ini, bisakah kalian menjelaskan mekanisme mikroevolusi yang disebabkan oleh faktor *genetic drift* dan *gene flow*?
2. Hal-hal apa yang belum kalian pahami dari materi ini?

Tindak Lanjut

1. Tuntun peserta didik mempelajari ulang topik mekanisme mikroevolusi pada subbab hanyutan genetik dan aliran gen.
2. Tuntun peserta didik untuk melakukan kegiatan eksplorasi lebih jauh lagi melalui kegiatan literasi terkait contoh-contoh nyata dari peristiwa hanyutan gen dan aliran gen.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.14

Jawaban dan hasil analisis yang diharapkan dari aktivitas ini yaitu:

Berdasarkan teks bacaan, ada 15 orang penduduk Inggris membentuk koloni baru di Tristan da Cunha. Ternyata, satu orang di antara 15 orang yang membentuk koloni baru tersebut dianggap sebagai *carrier* dari kelainan *retinitis pigmentosa*. Setelah beberapa tahun terbentuk koloni baru, ternyata jumlah penderita *retinitis pigmentosa* lebih banyak di Tristan da Cunha dibandingkan dari koloni asal (Inggris).

Hasil analisis:

Hal tersebut dapat terjadi karena dalam populasi kecil (koloni baru di Tristan da Cunha) lebih memungkinkan perkawinan acak antarpenduduk yang menyebabkan penyebaran dari gen pembawa kelainan *retinitis pigmentosa* ini semakin menyebar. Hal ini menyebabkan jumlah penderita semakin banyak yang ditemukan.

Aktivitas 3.15

1. Hal-hal yang dapat diamati melalui Gambar 3.21, yaitu pada tahun 1820 jumlah rumput teki di wilayah tersebut dalam jumlah banyak dan hampir memenuhi seluruh wilayah. Namun, pada tahun 1993 hanya ditemukan rumput teki dengan jumlah sangat sedikit.

2. Pada Gambar 3.22 dapat diamati peristiwa kebakaran hutan. Dari peristiwa tersebut, hal yang mungkin terjadi, yaitu berkurangnya jumlah flora maupun fauna yang berada di dalam hutan tersebut.
 - a. Persamaan Gambar 3.21 dan Gambar 3.22, yaitu berkurangnya spesies penghuni suatu wilayah tertentu.
 - b. Peristiwa tersebut dapat menyebabkan berkurangnya atau hilangnya sifat-sifat tertentu dalam sebuah populasi. Oleh karena itu, peristiwa ini dapat menyebabkan mikroevolusi karena pada akhirnya sifat yang akan diwariskan dan dilanjutkan keberadaannya merupakan sifat yang mampu selamat dari peristiwa kebakaran hutan maupun peristiwa alam lainnya yang menyebabkan hilangnya varietas tertentu.

Aktivitas 3.16

1. Berikut penjelasan bagaimana efek leher botol dan efek pendiri menjadi faktor terjadinya mikroevolusi.
 - a. Efek leher botol dapat menjadi penyebab terjadinya mikroevolusi, dikarenakan pada peristiwa ini yang dianggap sebagai leher botol, yaitu kejadian-kejadian baik secara alami, seperti bencana alam atau tindakan manusia, seperti pembakaran hutan, perburuan liar, dan lain-lain dapat menyebabkan berkurangnya atau bahkan hilangnya varietas tertentu dalam sebuah populasi. Sifat yang hilang tersebut tidak akan dapat ditemukan kembali di dalam spesies yang dianggap mampu melewati leher botol. Sifat dari spesies yang selamat tersebutlah yang akan dilanjutkan sebagai penghuni dari ekosistem tersebut.
 - b. Efek pendiri dianggap sebagai salah satu faktor terjadinya mikroevolusi, dikarenakan pada peristiwa ini sebagian kecil anggota dari suatu wilayah yang memiliki tingkat keanekaragaman gen berpindah ke wilayah yang baru. Beberapa anggota yang berpindah ini ternyata tidak mewakili keanekaragaman gen yang ada di wilayah asal sehingga wilayah baru yang mereka tempati memiliki keanekaragaman gen yang berbeda dengan wilayah asal karena terdapat beberapa sifat dari wilayah asal tidak ditemukan di wilayah yang baru. Terjadinya faktor pendiri ini dapat memberikan sumbangan atas frekuensi kelainan dan gangguan keturunan tertentu yang relatif tinggi pada populasi hasil keturunan sejumlah kecil penghuni baru. Jika hal ini terus-menerus berlangsung dalam kurun waktu yang panjang dengan

varian yang adaptif maka akan muncul spesies baru yang berbeda dengan spesies aslinya.

2. Hanyutan genetik sangat berdampak pada populasi kecil, namun tidak terlalu berpengaruh pada populasi besar dikarenakan pada populasi kecil, distribusi perpindahan alel antarspesies lebih cepat terjadi melalui perkawinan acak sehingga jika hal ini terjadi dalam kurun waktu tertentu, sifat yang akan diwariskan merupakan sifat baru yang sangat berbeda dari populasi asal. Adapun pada populasi besar, hanyutan genetik cenderung tidak memberikan pengaruh atau pengaruh yang diberikan cenderung tidak kelihatan karena tingkat distribusi alel yang terjadi sangat rendah sebab tingkat perkawinan acak yang terjadi lebih tinggi.

Pertemuan Ketujuh dan Kedelapan

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu menjelaskan berbagai bukti-bukti evolusi untuk memperkuat argumen bahwa evolusi merupakan mekanisme yang benar-benar terjadi.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari berbagai mekanisme yang dapat memengaruhi terjadinya evolusi.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Tuntun peserta didik untuk memahami pentingnya bukti-bukti evolusi dengan mengajukan pertanyaan berikut.
 - a. Apakah kalian pernah melihat dinosaurus secara langsung?
 - b. Dinosaurus telah punah jutaan yang lalu, namun hingga saat ini kalian masih bisa menemukan replika dari tubuh dinosaurus. Bagaimanakah kalian bisa mengenali bentuk tubuh dinosaurus tersebut?

2. Arahkan peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.17 untuk memahami bahwa variasi individu dalam satu keturunan merupakan salah satu bukti evolusi.
3. Ajak peserta didik mengamati Gambar 3.26 dan berikan kesempatan mereka untuk membuat kesimpulan dari gambar tersebut.
4. Tekankan pada peserta didik bahwa setiap fenotip yang berbeda bergantung pada gen yang mengkode. Hal inilah yang menyebabkan adanya variasi dalam individu.
5. Ajak peserta didik membaca uraian materi mengenai bukti-bukti evolusi bagian fosil.
6. Ajukan beberapa pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa itu fosil?
 - b. Mengapa fosil dapat dijadikan sebagai bukti evolusi?
7. Tekankan pada peserta didik bahwa fosil terlengkap yang pernah ditemukan, yaitu fosil kuda. Fosil tersebut terbentuk dalam lapisan sedimen dengan kurun waktu yang sangat panjang.
8. Tuntun peserta didik untuk melakukan Aktivitas 3.18, yaitu kegiatan literasi secara berkelompok untuk mencari tahu bagaimana evolusi pada manusia dapat dibuktikan dengan penemuan fosil.
9. Minta peserta didik mengamati kemiripan antara serigala, anjing dan rubah pada Gambar 3.29. Tuntun peserta didik untuk melihat bahwa serigala dan anjing digambarkan dalam satu cabang yang sama.
10. Ajak peserta didik membaca uraian materi homologi organ tubuh sebagai salah satu bukti evolusi. Berikan penekanan bahwa semakin mirip suatu organisme, semakin memperlihatkan hubungan yang dekat dalam pohon filogeni.
11. Ajak peserta didik mengingat kembali perkembangan embrionik pada pembelajaran sistem reproduksi. Kemudian, minta mereka mengamati Gambar 3.31.
12. Arahkan peserta didik membuat kesimpulan persamaan dari gambar tersebut.
13. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.

Berdasarkan gambar yang diamati, dapat dilihat bahwa manusia pada awal perkembangan embrio memiliki insang. Lalu, bagaimana dengan masa sekarang? Apakah manusia masih memiliki insang?

14. Ajak peserta didik melakukan kegiatan eksplorasi pada Aktivitas 3.19.
15. Ajak peserta didik mengingat kembali peranan materi genetik dalam menentukan sifat suatu individu.
16. Tuntun peserta didik mengerjakan Aktivitas 3.20 dan 3.21.

Alternatif 2 >>>>

1. Tuntun peserta didik memahami pentingnya bukti evolusi dalam memaparkan teori evolusi.
2. Ajak peserta didik mengingat kembali bagaimana hubungan antara genotip dan fenotip dalam pewarisan sifat.
3. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa yang memengaruhi tingkat kemiripan yang terjadi antarspesies?
 - b. Apa artinya memiliki variasi individu dalam suatu keturunan?
4. Tekankan pada peserta didik bahwa setiap fenotip yang berbeda bergantung pada gen yang mengkode. Hal inilah yang menyebabkan adanya variasi dalam individu.
5. Sajikan gambar fosil kuda pada peserta didik dan ajukan pertanyaan berikut.
 - a. Apa yang memengaruhi tingkat kemiripan yang terjadi antarspesies?
 - b. Apa artinya memiliki variasi individu dalam suatu keturunan?
6. Tekankan pada peserta didik bahwa fosil terlengkap yang pernah ditemukan, yaitu fosil kuda. Fosil tersebut terbentuk dalam lapisan sedimen dengan kurun waktu yang sangat panjang.
7. Tuntun peserta didik untuk melakukan Aktivitas 3.18, yaitu kegiatan literasi secara berkelompok untuk mencari tahu bagaimana evolusi pada manusia dapat dibuktikan dengan penemuan fosil.
8. Sajikan gambar serigala, anjing, dan rubah kepada peserta didik. Tanyakan kepada peserta didik dari ketiga gambar tersebut, hewan manakah yang paling mirip?
9. Ajak peserta didik membaca uraian materi homologi organ tubuh sebagai salah satu bukti evolusi. Tekankan bahwa semakin mirip suatu organisme, semakin memperlihatkan hubungan yang dekat dalam pohon filogeni.
10. Tuntun peserta didik membaca uraian materi bukti evolusi: embriologi.
11. Ajukan pertanyaan berikut pada peserta didik.

- a. Setelah membaca raian materi, apakah kalian menemukan kemiripan perkembangan embrio pada berbagai hewan vertebrata?
 - b. Jika pada tahap awal perkembangan embrio manusia juga memiliki insang, mengapa setelah semakin dewasa organ tersebut sudah tidak ada lagi?
12. Ajukan pertanyaan berikut kepada peserta didik.
- a. Manusia dan simpanse memiliki kemiripan hampir 98%. Hal tersebut menunjukkan apa?
 - b. Bagaimana tingkat kemiripan tersebut dapat dijadikan bukti dari evolusi?
13. Tuntun peserta didik untuk mengerjakan aktivitas 3.21

— Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik mengamati gambar dan membuat kesimpulan.
2. Tuntun peserta didik melakukan kegiatan literasi dan mengkomunikasikan hasil literasi pada Aktivitas 3.18.
3. Ajukan pertanyaan kepada peserta didik tentang homologi dan analogi yang terdapat pada tubuh makhluk hidup.
4. Ajak peserta didik mengamati dan membuat kesimpulan terkait perkembangan embrio pada berbagai hewan vertebrata.
5. Tuntun peserta didik melakukan analisis terhadap organ sisa pada manusia dan hubungannya dengan bukti-bukti evolusi.
6. Ajak peserta didik mengingat kembali hubungan antara fenotip dan genotip serta kemiripan antarspesies.
7. Tuntun peserta didik dalam melakukan Aktivitas 3.20 dan 3.21 untuk membangun pemahaman bahwa kemiripan DNA dapat dijadikan dasar dalam menentukan kedekatan hubungan antarmakhluk hidup.

— Aplikasi Konsep

1. Ajak peserta didik bereksplorasi pada Aktivitas 3.19.
2. Tuntun peserta didik berdiskusi dan berkomunikasi pada Aktivitas 3.18.
3. Tuntun peserta didik berpikir kritis dalam Aktivitas 3.21.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa saja yang telah kalian pelajari dari materi bukti-bukti evolusi?
2. Hal apa saja yang masih belum kalian pahami pada pembahasan ini?
3. Tekankan kepada peserta didik bahwa bukti-bukti evolusi yang telah dipelajari merupakan hal-hal yang diperlukan dalam menjabarkan mekanisme evolusi.

Tindak Lanjut

1. Arahkan kembali peserta didik untuk membaca ulang topik bukti-bukti mekanisme evolusi.
2. Tuntun peserta didik membuat *mind map* sebagai ringkasan pemahaman terhadap materi bukti evolusi.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.17

1. Berikut contoh hasil pengamatan kemiripan dalam anggota keluarga.

No.	Anggota Keluarga	Warna Kulit	Rambut	Warna Mata	Daun Telinga	Tinggi	Berat
1.	Ayah	Putih	Lurus hitam	Hitam	Menggantung	155 cm	58 kg
2.	Ibu	Sawo matang	Keriting	Hitam	Menggantung	160 cm	60 kg
3.	Kakak	Putih	Lurus hitam	Hitam	Menggantung	150 cm	50 kg
4.	Adik	Sawo matang	Lurus hitam	Hitam	Menggantung	150 cm	50 kg

2. Berdasarkan data pengamatan yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa tingkat kemiripan dalam anggota keluarga tersebut berkisar 95 persen.
3. Hal yang menjadi alasan tingginya persentase kemiripan tersebut, yaitu faktor gen yang terdapat dalam setiap anggota keluarga.

Aktivitas 3.18

Berikut beberapa hasil literasi dari beberapa sumber.

- a. https://mahasiswa.ung.ac.id/613412110/home/2013/3/7/sejarah_perkembangan_dan_koleksi_gambar_manusia_purba.html
- b. <https://www.itb.ac.id/news/read/57505/home/geologi-itb-menyapa-menelusuri-jejak-perkembangan-manusia-purba-di-indonesia>

Aktivitas 3.19

1. Peserta didik membaca artikel yang diberikan.
2. Peserta didik membuat ringkasan hasil bacaan dalam bentuk *mind map*.
 - a. Pada bahan bacaan yang diberikan, dipaparkan beberapa organ sisa pada manusia. Organ sisa adalah organ yang mengalami regenerasi dikarenakan organ tersebut sudah jarang atau bahkan tidak pernah digunakan oleh manusia. Keberadaan organ tersebut pun tidak mengganggu fungsi organ dan fungsi sistem tubuh pada manusia.
 - b. Ya, organ sisa dapat dijadikan sebagai salah satu bukti evolusi karena keberadaan organ tersebut tentu saja dikode oleh gen yang memiliki urutan yang mirip dengan organisme lain yang memiliki organ tersebut serta berfungsi secara sempurna.

Aktivitas 3.20

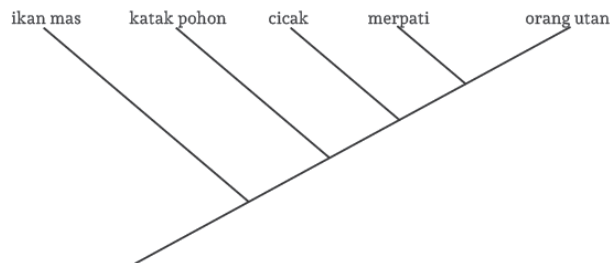
1. Berdasarkan hasil pengamatan, berikut hubungan antara tabel dan hasil kladogram.

Kladogram disusun berdasarkan banyaknya kemiripan pada organisme yang dimaksud. Contohnya macan tutul dan kura-kura, jika dilihat pada tabel kemiripan maka diperoleh empat ciri yang sama dan satu ciri berbeda. Oleh karena itu, ketika digambarkan dalam kladogram, macan tutul dan kura-kura digambarkan secara berdekatan dalam satu cabang. Namun, jika dibandingkan antara macan tutul dan lancelet, dapat dilihat pada tabel bahwa tidak ada persamaan ciri antara keduanya. Oleh karena itu, ketika digambarkan dalam kladogram, macan tutul dan lancelet berada dalam cabang yang berbeda dan memiliki jarak yang sangat jauh.

2. Berikut tabel pengamatan yang diperoleh.

No.	Ciri/Karakteristik	Nama Hewan				
		Ikan	Katak Pohon	Cicak	Merpati	Monyet
1.	Habitat di darat	0	1	1	0	1
2.	Pembuahan eksternal	0	0	1	1	1
3.	Suhu tubuh cenderung konstan	0	0	0	1	1
4.	Kulit ditutupi oleh rambut	0	0	0	1	1

3. Berdasarkan tabel dapat digambarkan dalam bentuk *cladogram* sebagai berikut.



Aktivitas 3.21

Diketahui urutan DNA sebagai berikut.

A– GCTTGTCCGTTACGAT

B – ACTTGTCTGTTACGAT

C – ACTTGTCCGAAACGAT

D – ACTTGACCGTTTCCTT

Berdasarkan urutan DNA, dapat digambarkan pohon filogeni dengan tahapan berikut.

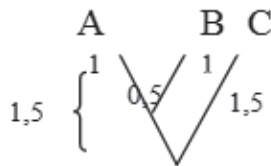
- Cari perbedaan urutan DNA. Perbedaan ini dinamakan jarak genetik. Berdasarkan urutan DNA di atas, berikut jarak genetik di antara taksa.

	A	B	C	D
A		2	3	5
B	2		3	5
C	3	3		6
D	5	5	6	

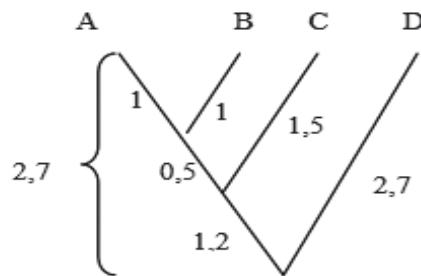
- b. Kemudian, cari kedua taksa yang paling dekat hubungannya atau yang paling pendek jarak genetiknya. Dari tabel di atas, jarak taksa A dan B merupakan taksa yang paling dekat karena hanya ada dua urutan DNA yang berbeda.
- c. Mulailah pohon filogeni ini dengan cabang yang menghubungkan A dan B. Masing-masing cabang harus memiliki panjang yang sama sehingga jaraknya dibagi dua. Jadi, $2 \div 2 = 1$.



- d. Selanjutnya, taksirlah jarak antara unit AB dengan taksa yang lain.
- e. Hitung jarak rata-rata AB ke C. Jarak dari A ke C adalah 3. Jarak B ke C adalah 3. Maka, rata-rata dari AB ke C adalah 3.
- f. Hitung jarak rata-rata dari AB ke D. Jarak A ke D adalah 5 dan jarak B ke D adalah 5. Maka, rata-ratanya adalah 5.
- g. Oleh karena jarak AB ke C lebih kecil dari jarak AB ke D maka C ditempatkan setelah A dan B pada pohon tersebut. Masing-masing cabang (cabang AB dan cabang C) mempunyai panjang 1,5.



- h. Terakhir, taksirlah jarak ABC ke D. Jarak A ke D adalah 5, jarak B ke D = 5, dan jarak C ke D = 6. Jadi, jarak rata-rata jarak ABC ke D = $5,3$. Sehingga panjang cabang D adalah $5,3 \div 2 = 2,7$



Subbab 2.3 : Teori Evolusi Pasca-Darwin

Alokasi waktu : 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Pertemuan Kesembilan

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu menjelaskan berbagai teori yang muncul setelah Darwin sebagai bentuk perlawanan terhadap teori yang disampaikan Darwin.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah memahami mekanisme evolusi yang disampaikan Darwin.
2. Peserta didik telah memahami berbagai bukti-bukti evolusi yang disampaikan Darwin.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Tuntun peserta didik membaca uraian materi yang disampaikan pada bagian materi teori-teori pasca Darwin.
2. Ajak peserta didik berdiskusi dan mengutarakan pendapatnya terkait pemaparan materi yang disajikan.
3. Bagi peserta didik ke dalam beberapa kelompok dan tuntun mereka melakukan Aktivitas 3.22.

Alternatif 2 >>>>

1. Tuntun peserta didik untuk melakukan kegiatan literasi terkait topik teori-teori evolusi pasca Darwin
2. Tuntun peserta didik untuk mengajukan pendapatnya terkait pandangan-pandangan baru tentang evolusi

Konstruksi Pengetahuan

Ajak peserta didik menemukan bentuk-bentuk yang berlawanan dari teori pasca Darwin dengan teori yang telah disampaikan Darwin.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan pada peserta didik berdasarkan hasil penalaran dan analisis pribadinya, teori manakah yang paling dapat diterima untuk menjelaskan asal-usul kehidupan?
2. Tuntun peserta didik untuk mengkomunikasikan pendapat dan pandangan pribadinya melalui Aktivitas 3.22.

Refleksi pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa yang telah dipahami dalam pembelajaran ini?
2. Hal apa yang belum dipahami dalam pembelajaran ini?

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Tuntun peserta didik untuk lebih banyak melakukan kegiatan literasi sehingga memperkaya pengetahuan mereka tentang teori-teori terbaru yang muncul terkait evolusi.
2. Tuntun peserta didik untuk berani dalam menyampaikan pendapat pribadinya dalam kegiatan debat di dalam kelas.

Pertemuan Kesepuluh

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu menganalisis berbagai teori yang muncul setelah Darwin sebagai bentuk perlawanan terhadap teori yang disampaikan Darwin.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah memahami mekanisme evolusi dan bukti-bukti evolusi yang disampaikan Darwin.
2. Peserta didik telah mempelajari berbagai teori baru yang muncul setelah Darwin.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

1. Bagi kelas menjadi dua kelompok besar yang terdiri atas kelompok yang pro dan kontra terhadap evolusi Darwin.
2. Masing-masing kelompok menyusun esai yang bertujuan untuk mempertahankan ide pokok masing-masing topik kelompok.

Tim yang pro terhadap evolusi Darwin bertugas menyusun materi yang bertujuan untuk memaparkan teori evolusi Darwin disertai dengan bukti-bukti serta dasar teori yang ilmiah.

Adapun tim yang kontra terhadap teori evolusi Darwin bertugas menyusun argumen menentang pokok-pokok pikiran Darwin dengan menggunakan dasar berpikir yang ilmiah.

3. Desainlah kondisi kelas secara berhadapan antara tim yang pro dan kontra terhadap evolusi Darwin.
4. Bagikan pokok-pokok pikiran yang telah disusun masing-masing kelompok dengan metode debat.

Konstruksi Pengetahuan

Ajak peserta didik menemukan bentuk-bentuk yang berlawanan dari teori pasca Darwin dengan teori yang telah disampaikan Darwin.

Aplikasi Konsep

Tanyakan pada peserta didik berdasarkan hasil penalaran dan analisis pribadinya, teori manakah yang paling dapat diterima untuk menjelaskan asal-usul kehidupan?

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik kembali berpikir dengan mengajukan beberapa pertanyaan berikut.

1. Hal apa yang telah dipahami dalam pembelajaran ini?
2. Hal apa yang belum dipahami dalam pembelajaran ini?

Tindak Lanjut Pembelajaran

Tuntun peserta didik untuk lebih banyak melakukan kegiatan literasi sehingga memperkaya pengetahuan mereka tentang teori-teori terbaru yang muncul terkait evolusi.

Kunci Jawaban

Aktivitas 3.22

Hal yang diharapkan melalui aktivitas ini, yaitu:

1. Peserta didik mampu menganalisis setiap teori yang telah dipelajari.
2. Peserta didik mampu menyampaikan pendapat dalam mempertahankan pendapatnya.
3. Peserta didik mampu berkomunikasi dengan percaya diri.

Kunci Jawaban dan Pedoman Penskoran Uji Kompetensi

A. Pilihan Ganda

No.	Jawaban	Skor	No.	Jawaban	Skor
1.	A	1	6.	E	1
2.	C	1	7.	C	1
3.	A	1	8.	C	1
4.	B	1	9.	E	1
5.	B	1	10.	A	1

B. Esai

No.	Jawaban	Skor
1.	Ya. Jika dalam suatu populasi tidak terjadi mutasi, tidak terjadi seleksi alam, dan tidak ada perkawinan acak maka dalam populasi tersebut keseimbangan hukum Hardy Weinberg akan dapat dibuktikan. Hal ini karena jika faktor-faktor di atas dapat dikontrol maka tidak akan terjadi perubahan frekuensi alel dalam sebuah <i>gene pool</i> .	10

2.	Ya, bencana alam merupakan salah faktor yang dapat menimbulkan terjadinya mikroevolusi di dalam sebuah populasi. Hal ini bisa terjadi karena peristiwa bencana alam dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan variasi tertentu dalam sebuah populasi secara acak. Sifat spesies yang selamat dari peristiwa bencana alam inilah yang akan diwariskan secara terus-menerus sehingga membentuk populasi baru. Jika hal ini berlangsung dalam kurun waktu yang sangat panjang maka variasi spesies yang lama tidak dapat lagi ditemukan dalam populasi yang baru.	15
3.	Evolusi jerapah berleher panjang oleh Lamarck: Lamarck menjelaskan bahwa mekanisme pada jerapah berleher panjang terletak pada konsep <i>use and disuse</i>. Lamarck menekankan bahwa pada kehidupan sebelumnya semua jerapah berleher pendek, akan tetapi seiring waktu dan karena daun pepohonan yang semakin tinggi maka jerapah semakin sering menggunakan lehernya demi memperoleh bahan makanan untuk bertahan hidup. Hal inilah yang menyebabkan jerapah menjadi berleher panjang dan sifat ini akan diwariskan. Evolusi jerapah berleher panjang oleh Darwin: Darwin menekankan pada mekanisme adaptasi dan seleksi alam. Darwin menjelaskan bahwa pada awalnya terdapat jerapah yang berleher pendek dan berleher panjang. Seiring berjalannya waktu, dedaunan pepohonan semakin tinggi dan hanya jerapah berleher panjang yang mampu beradaptasi dan memperoleh makanan untuk bertahan hidup. Hal ini menyebabkan jerapah berleher pendek menjadi punah sehingga sifat yang terus diwariskan hingga saat ini adalah jerapah berleher panjang.	15
4.	Persentase 1% perbedaan materi genetik antara manusia dan simpanse memiliki makna yang membuat simpanse dan manusia tidak benar-benar sama 100%. Di dalam satu persen perbandingan materi genetik antara simpanse dan manusia tersebut mengandung kekhasan urutan basa nitrogen yang akan membentuk kodon dan memuat informasi asam amino yang khas dan hanya dimiliki oleh spesies manusia.	20
5.	Kasus pada soal merupakan penerapan hukum Hardy Weinberg. Hukum Hardy Weinberg memiliki persamaan $(p+q)^2 = p^2+2pq+q^2$ dengan p^2 adalah persentase individu homozigot dominan, $2pq$ adalah persentase individu heterozigot, dan q^2 adalah persentase individu homozigot resesif. Berdasarkan persamaan tersebut, maka: Laki-laki buta warna ($X^{cb}Y$) = 7 % = 0,07 (q) Wanita <i>carrier</i> ($X^{cb}X$) = 2 pq Wanita buta warna ($X^{cb}X^{cb}$) = q^2 Hukum Hardy-Weiberg $p + q = 1$ $p = 1 - q$ $p = 1 - 0,07 = 0,93$ atau 93 % (normal) Wanita <i>carrier</i> $2pq = 2 \times (0,93) (0,07)$ $= 0,1302 = \mathbf{13,02\%}$ Wanita buta warna $q^2 = (0,07)^2 = 0,0049 = \mathbf{0,49\%}$	30

— Jenis Penilaian yang Dianjurkan pada Guru

Jenis	Bentuk	Teknik
Pengetahuan	Tes	Aktivitas 3.1 Mengamati Variasi Morfologi pada Anjing Aktivitas 3.3 Mengeksplorasi Hubungan Evolusi Makhluk Hidup berdasarkan Pohon Filogeni Aktivitas 3.6 Menarik Kesimpulan Sementara terkait Teori Evolusi Lamarck Aktivitas 3.7 Mengeksplorasi Variasi Paruh Burung Finch Aktivitas 3.8 Menganalisis Teori Evolusi Darwin berdasarkan Pengamatan Lingkungan dan Gambar Aktivitas 3.10 Menganalisis Hubungan Perilaku Burung Merak Jantan dengan Mekanisme Seleksi Alam Aktivitas 3.13 Ayo Berlatih Aktivitas 3.14 Menganalisis Hubungan Efek dengan Evolusi Aktivitas 3.15 Menganalisis Hubungan Efek Leher Botol dengan Mekanisme Evolusi Aktivitas 3.16 Ayo Berlatih Aktivitas 3.20 Membuat Kladogram Aktivitas 3.21 Membuat Kladogram
	Nontes	Aktivitas 3.4 Memahami Percobaan Francesco Redi Aktivitas 3.11 Mengeksplorasi Sifat yang Diminati pada Tanaman Anggrek Aktivitas 3.18 Berdiskusi mengenai Fosil sebagai Bukti Evolusi Berdasarkan Literasi Aktivitas 3.19 Menganalisis Organ Sisa pada Tubuh Manusia Aktivitas 3.22 Berdiskusi mengenai Pro dan Kontra Teori Evolusi Darwin
Keterampilan	Tes	Aktivitas 3.2 Mengamati Proses Evolusi Kuda Aktivitas 3.9 Variasi Sayap pada Kupu-kupu <i>Biston betularia</i> Aktivitas 3.12 Mencari Tahu Seleksi Buatan pada Makhluk Hidup
	Nontes	Aktivitas 3.4 Memahami Percobaan Francesco Redi Aktivitas 3.5 Membandingkan Beberapa Percobaan yang Mendukung Perkembangan Teori Evolusi Aktivitas 3.17 Menganalisis Faktor Penyebab Kemiripan dalam Anggota Keluarga Aktivitas 3.22 Berdiskusi mengenai Pro dan Kontra Teori Evolusi Darwin

Catatan:

Penilaian dalam tabel hanya salah satu alternatif. Guru dapat memodifikasi penilaian disesuaikan dengan kondisi masing-masing sekolah. Guru melakukan remedial bagi peserta didik yang tidak mencapai KKM. Remedial dapat dilakukan dengan pemberian tugas atau pembelajaran ulang yang diakhiri dengan tes. Tes remedial yang disusun disesuaikan dengan tujuan pembelajaran yang belum tuntas pada masing-masing peserta didik.

No.	Aspek		Skor	Bobot
1.	Perencanaan	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Pemilihan lokasi observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Pemilihan perlengkapan dan cara memperoleh data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Rancangan jadwal proses pelaksanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Pemilihan media presentasi.			
2.	Proses pelaksanaan proyek	4 poin terpenuhi	4	4
	a. Persiapan perlengkapan observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Persiapan pertanyaan teknik pengambilan data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kesesuaian data yang dicari dengan perencanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kerjasama kelompok.			
3.	Hasil produk presentasi	4 poin terpenuhi	4	3
	a. Media yang digunakan menarik.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Menampilkan gambar dan grafik.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kebenaran isi media presentasi.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kemudahan dalam memahami media presentasi.			
4	Presentasi	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Penggunaan bahasa yang baik dan benar.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Penyampaian yang mudah dipahami.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Penggunaan media yang menarik.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kekompakan tim.			

Interaksi Guru dengan Orang Tua atau Wali

Guru dapat memberikan informasi kepada orang tua terkait penugasan proyek yang diberikan kepada anaknya. Ketika peserta didik akan mengambil data ke laboratorium terdekat, berikan pemantauan untuk tetap melakukan protokol

kesehatan. Khusus tugas untuk mencari informasi di internet, diharapkan orang tua juga ikut mengawasi. Selain itu, guru dapat menginformasikan hasil refleksi dan pencapaian peserta didik pada materi sebagai salah satu bentuk umpan balik di akhir bab.

Refleksi untuk Guru

Guru perlu melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilakukan pada bab ini untuk menemukan hal-hal yang menjadi kendala untuk diperbaiki pada pembelajaran selanjutnya. Guru juga perlu melakukan refleksi terhadap konsep-konsep yang sulit dipahami peserta didik dan cenderung menjadi miskonsepsi untuk dicatat dan ditekankan pada pembelajaran selanjutnya.

Harapan Kurikulum

Guru diharapkan lebih menekankan keterampilan proses dan pembentukan dimensi Profil Pelajar Pancasila selama proses pembelajaran, khususnya dimensi bergotong royong, kreatif, dan bernalar kritis. Proyek merupakan salah satu media dalam pengembangan keterampilan proses dan sikap ilmiah seperti objektif, jujur, kritis, dan terbuka sehingga perlu mendapat perhatian khusus. Pada akhir pembelajaran ini, guru diharapkan mampu menanamkan pentingnya protokol kesehatan, vaksinasi, dan hidup sehat.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Buku Panduan Guru Biologi
untuk SMA/MA Kelas XII

Penulis Shilviani Dewi, dkk.

ISBN 978-602-427-959-2 (jil.2)

BAB 4



Inovasi Bioteknologi

● A. Pendahuluan

Inovasi bioteknologi sangat relevan untuk seluruh bidang kehidupan dan kemajuan zaman. Pada masa revolusi industri 4.0 di mana seluruh aktivitas kehidupan dikendalikan oleh teknologi informasi dengan *internet of think (IoT)* dan *artificial intelligence (AI)* sangat mendukung inovasi-inovasi baru. Kebermanfaatan inovasi bioteknologi semakin nyata untuk menghasilkan dan memenuhi kebutuhan barang dan jasa bagi manusia, termasuk penyembuhan penyakit kronis.

Bab Inovasi Bioteknologi disusun berjenjang mulai dari pemahaman bioteknologi, bioteknologi konvensional dan modern, kebermanfaatan dalam berbagai bidang kehidupan, cabang-cabang ilmu yang berkontribusi pada bioteknologi, aplikasi bioteknologi konvensional dan modern, serta bioetika.

Tujuan pembelajaran pada materi inovasi bioteknologi dirumuskan sebagai berikut. Setelah mempelajari Bab VI, peserta didik dapat:

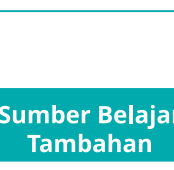
1. menafsirkan definisi bioteknologi melalui analisis produk bioteknologi dan komponen bioteknologi
2. menafsirkan peranan bioteknologi dalam kehidupan manusia melalui pengamatan virtual dan analisis produk bioteknologi
3. memberikan contoh peranan bioteknologi dalam pemecahan masalah dalam kehidupan manusia melalui pengamatan virtual dan analisis produk bioteknologi
4. menganalisis perbedaan bioteknologi konvensional dengan modern melalui pengamatan gambar proses produksi produk bioteknologi
5. menganalisis cabang-cabang ilmu biologi yang terlibat dalam inovasi bioteknologi melalui penggambaran pohon cabang biologi yang berkontribusi pada bioteknologi
6. memberi saran pemanfaatan bioteknologi konvensional melalui proyek tempe nonkedelai
7. memberi saran inovasi pembuatan tempe dan pemanfaat bioteknologi pada bidang yang lain melalui pengerjaan proyek inovasi tempe sempurna
8. memberikan saran pemanfaatan bioteknologi modern melalui pengamatan gambar
9. memberikan argumentasi terhadap pemanfaatan bioteknologi modern dalam kehidupan manusia melalui gambar

10. mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern melalui rekayasa genetika dan kultur jaringan setelah melakukan pengamatan virtual
11. mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern dalam kehidupan manusia melalui analisis SWOT
12. mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi berdasarkan bioetika yang berlaku melalui studi kasus

-----● B. Skema Mata Pelajaran

Subbab: A. Definisi Bioteknologi B. Manfaat Bioteknologi Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran (JP)			
Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Melakukan observasi dan mengidentifikasi bahan makanan yang tersimpan di rumah	Komponen bioteknologi: bahan, agen, dan produk	Buku siswa pada Aktivitas 4.1	 
Mempresentasikan hasil diskusi analisis komponen dan definisi bioteknologi	Definisi bioteknologi	Buku siswa pada subbab Definisi Bioteknologi dan Manfaat Bioteknologi	
Membaca sejarah penemuan bioteknologi	Penemuan bioteknologi	Buku siswa pada Aktivitas 4.2	
Melakukan pengamatan virtual dan diskusi analisis bidang manfaat bioteknologi dan contohnya	Manfaat bioteknologi	Buku siswa pada Aktivitas 4.3	

Subbab: C. Jenis Bioteknologi
D. Cabang Ilmu yang Berperan dalam Bioteknologi
Alokasi waktu: 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran (JP)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Mengamati dan menganalisis gambar proses pembuatan tempe dan tanaman transgenik	Bioteknologi konvensional dan modern	Buku siswa subbab Jenis Bioteknologi dan Aktivitas 4.4	
Diskusi menemukan perbedaan bioteknologi konvensional dan modern	Perbedaan bioteknologi konvensional dan modern		
Membaca artikel bioinformatika	Bioinformatika	Buku siswa pada Aktivitas 4.5	
Menggambar pohon bioteknologi	Pohon bioteknologi	Buku siswa pada Aktivitas 4.6	
Menganalisis produk terkait cabang ilmu yang berkontribusi pada bioteknologi dan menggambar hasilnya dalam bentuk pohon bioteknologi	Cabang ilmu kontributor bioteknologi	Buku siswa pada Aktivitas 4.7.	

Subbab: E. Aplikasi Bioteknologi Konvensional
Alokasi waktu: 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran (JP)

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Membaca jurnal dan menemukan bahan tempe selain kedelai dan jamur tempe	Bahan jamur dan bahan alternatif tempe	Buku siswa pada Aktivitas 4.8	
Membaca dan berdiskusi bahan dan jamur dan aktivitas jamur pada pembuatan tempe serta pembuatan tempe	Bahan, agen, aktivitas agen, dan manfaat tempe	Buku siswa subbab Aplikasi Bioteknologi Konvensional bagian materi Bioteknologi tempe	

Mengerjakan proyek inovasi produk tempe menjadi tempe dengan protein sempurna	Inovasi tempe dengan tambahan protein hewani	Buku siswa pada Aktivitas 4.9	
---	--	-------------------------------	---

Subbab: F. Aplikasi Bioteknologi Modern
G. Harapan dan Kenyataan Bioteknologi Modern
H. Bioetika

Alokasi waktu: 6 kali pertemuan/2 jam pelajaran (JP).

Aktivitas Pembelajaran	Kata Kunci	Sumber Belajar Utama	Sumber Belajar Tambahan
Pengamatan gambar dan diskusi macam bidang dan jenis produk bioteknologi modern	Macam produk bioteknologi modern	Buku siswa pada Aktivitas 4.10	 
Membaca dan berdiskusi macam-macam produk bioteknologi modern pada berbagai bidang kehidupan		Buku siswa pada subbab Aplikasi Bioteknologi Modern	
Membaca dan mencermati jurnal tentang prinsip dan prosedur kultur jaringan dan berdiskusi tentang pemanfaatan kultur jaringan	Prinsip kultur jaringan Macam kultur jaringan dan pemanfaatannya	Buku siswa pada Aktivitas 4.11	
Berliterasi dan berdiskusi untuk menganalisis produk kultur jaringan terkait bahan, agen, dan aktivitas agen	Produk kultur jaringan	Buku siswa pada Aktivitas 4.12	

Pengamatan gambar dan menjawab pertanyaan terkait urutan rekayasa genetika	Rekayasa genetika	Buku siswa pada Aktivitas 4.13	
Membaca macam-macam GMO pada berbagai bidang kehidupan	GMO	Buku siswa subbab Aplikasi Bioteknologi Modern bagian Rekayasa Genetika/ GMO	
Pengamatan gambar kloning domba Dolly	Kloning hewan	Buku siswa pada Aktivitas 4.14	
Pengamatan gambar kloning manusia	Kloning manusia	Buku siswa pada Aktivitas 4.15	
Membaca macam-macam jenis kloning beserta dampaknya	Jenis kloning dan dampak kloning	Buku siswa pada subbab Aplikasi Bioteknologi Modern bagian Kloning	
Pengamatan video tentang vaksin dan menjawab pertanyaan	Macam vaksin buatan Indonesia	Buku siswa pada Aktivitas 4.16	
Membaca tahapan pembuatan vaksin	Tahap pembuatan vaksin	Buku siswa subbab Aplikasi Bioteknologi Modern bagian Vaksin	

Pengamatan gambar <i>stem cell</i>	<i>Stem cell</i>	Buku siswa pada Aktivitas 4.17	
Membaca macam sumber <i>stem cell</i> dan manfaatnya	Macam sumber <i>stem cell</i>	Buku siswa subbab Aplikasi Bioteknologi Modern bagian <i>Stem cell</i>	
Membaca proses penyuntingan genom dan manfaatnya	Penyuntingan genom	Buku siswa sub bab Aplikasi Bioteknologi Modern bagian Penyuntingan Genom	
Membaca harapan dan kenyataan penerapan bioteknologi modern	Penerapan bioteknologi modern	Buku siswa subbab Harapan dan Kenyataan Penerapan Bioteknologi Modern	
Melakukan analisis SWOT Penerapan Bioteknologi Modern	Analisis SWOT	Buku siswa pada Aktivitas 4.18	
Membaca prinsip dan penerapan bioetika	Bioetika	Buku Siswa pada subbab Bioetika	
Mengevaluasi penerapan bioetika pada bioteknologi modern	Evaluasi bioetika	Buku siswa pada Aktivitas 4.19	

Panduan Pembelajaran Bab VI Inovasi Bioteknologi

Pertemuan Pertama

Subbab : Definisi dan Manfaat Bioteknologi
Alokasi waktu : 1 kali pertemuan/2 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menafsirkan definisi bioteknologi dengan benar setelah melakukan analisis produk dan komponen bioteknologi.
2. Peserta didik dapat menafsirkan peranan bioteknologi dalam kehidupan manusia dengan lengkap setelah melakukan analisis produk dan komponen bioteknologi.
3. Peserta didik dapat memberikan contoh peranan bioteknologi dalam pemecahan masalah dalam kehidupan manusia dengan benar melalui pengamatan virtual.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari terutama tentang keanekaragaman hayati.
2. Peserta didik telah mempelajari respirasi anaerob atau fermentasi.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Arahkan peserta didik untuk memerhatikan gambar di halaman depan bab.
2. Minta peserta didik membaca pendahuluan bab.
3. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Produk bioteknologi apa yang tergambar di bagian pendahuluan? Bisakah kalian melihat dan menyebutkan produk bioteknologi lainnya?
 - b. Coba ingat kembali, apakah kalian pernah melihat bahan, jamur, dan produk bioteknologi pada gambar?
4. Ajak peserta didik berpikir bahwa bioteknologi memerlukan bahan, agen biologi, dan menghasilkan produk. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi teknologi dalam bioteknologi. Tekankan

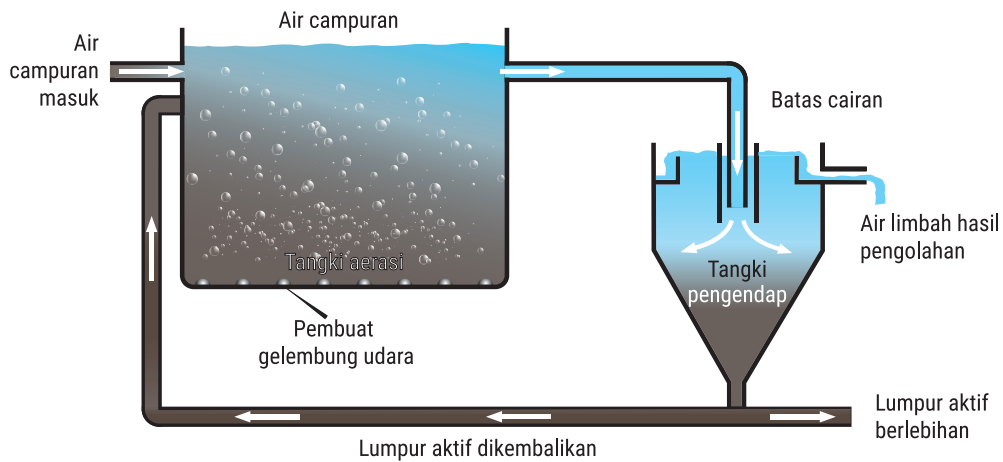
bahwa bioteknologi dapat menghasilkan produk berupa barang dan jasa yang dapat membantu memecahkan permasalahan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

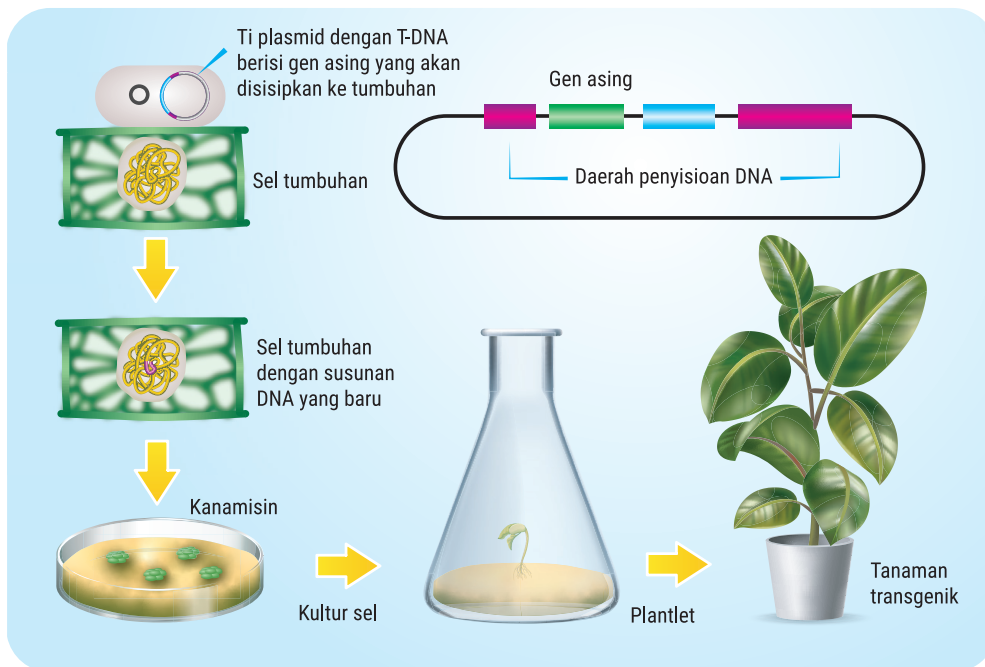
1. Ajak peserta didik mengingat produk bioteknologi yang ada di dapur.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Ada berapa macam produk bioteknologi yang kalian lihat?
 - b. Apakah bahan utama, bahan tambahan, dan produk yang dihasilkan sama?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa bioteknologi membutuhkan bahan, agen biologi, dan menghasilkan produk. Kemudian, ajak mereka membayangkan jika tidak ada salah satu di antaranya. Tekankan bahwa bioteknologi dapat menghasilkan produk berupa barang dan jasa, yang dapat membantu memecahkan permasalahan kehidupan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

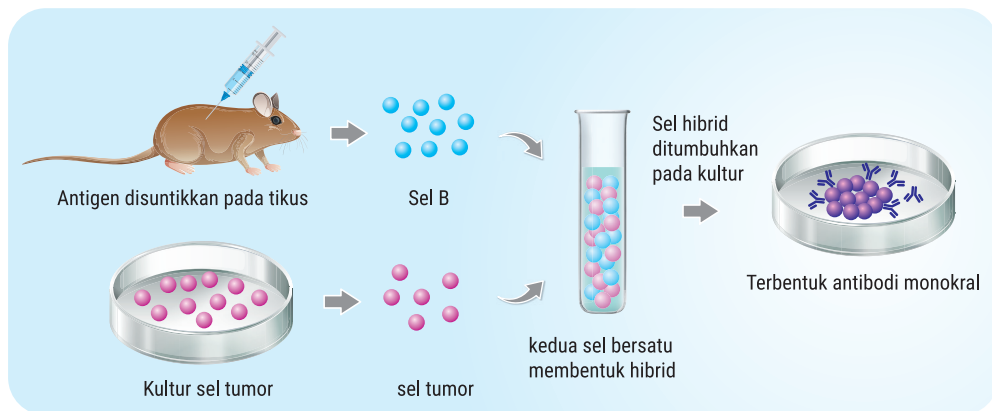
1. Ajak peserta didik menyampaikan hasil pengamatan gambar sesuai dengan petunjuk Aktivitas 4.1.
2. Minta peserta didik berdiskusi dalam menjawab pertanyaan pada Aktivitas 4.1. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan komponen produk, bahan dasar, dan agen biologinya.
4. Arahkan peserta didik untuk mengerjakan Aktivitas 4.2. Kemudian, minta mereka mempresentasikan di depan kelas.
5. Ajak peserta didik mengingat macam-macam produk bioteknologi di dapur rumahnya atau ajak mereka mengingat produk-produk bioteknologi yang dijual di pasar maupun yang ditemukan melalui berselancar di dunia maya. Tekankan bahwa dengan begitu banyaknya produk bioteknologi maka semakin banyak permasalahan yang dapat dipecahkan.
6. Minta peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.3 (alternatif 1). Kemudian, minta mereka berdiskusi serta memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya.
7. Minta peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.3 termodifikasi video Youtube diganti dengan gambar (alternatif 2). Kemudian, minta mereka berdiskusi dan memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya. Berikut gambar yang harus diamati dan dianalisis peserta didik.



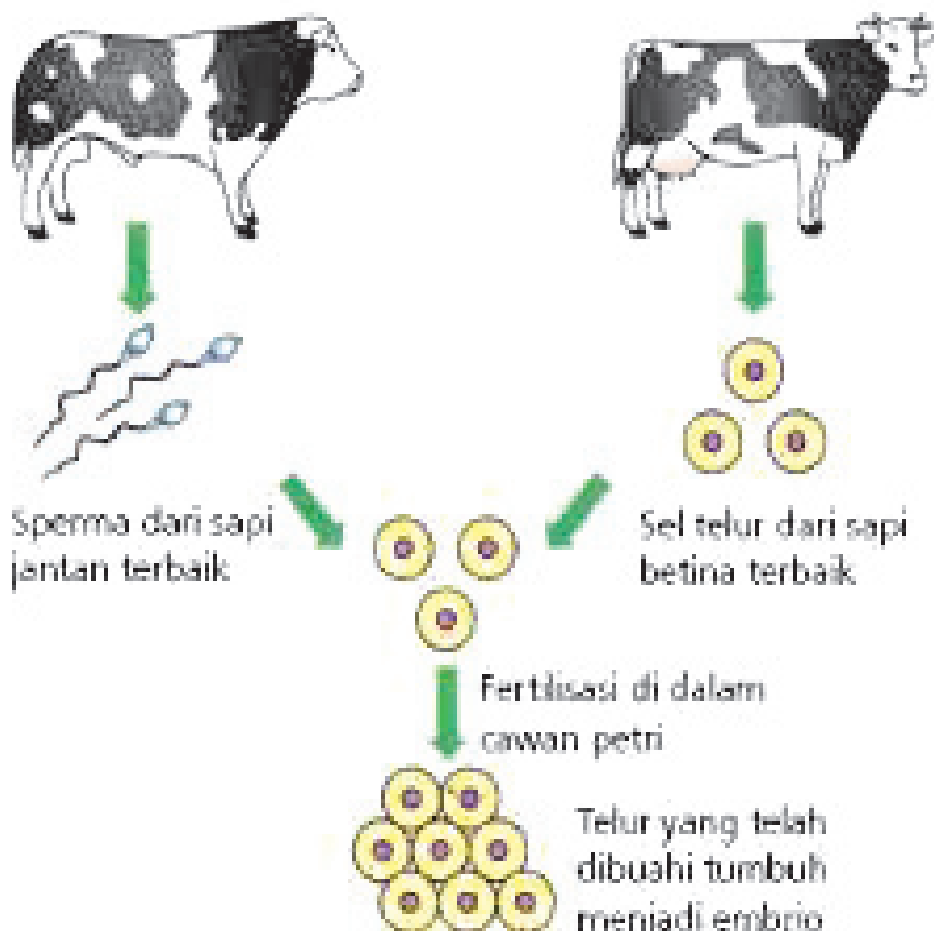
Gambar 4.1 Teknik bioremediasi pada IPAL.



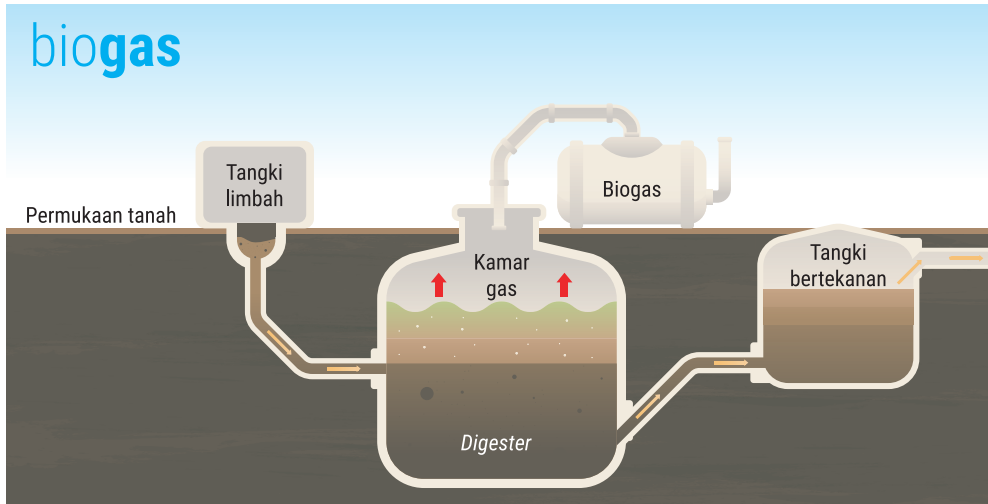
Gambar 4.2 Teknologi tanaman transgenik.



Gambar 4.3 Teknologi hibridoma pada antibodi monoklonal.



Gambar 4.4 Teknologi invitro pada sapi



Gambar 4.5 Produksi biogas.

8. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena hidup lebih mudah dengan aplikasi bioteknologi pada berbagai bidang kehidupan.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang produk-produk yang ada di rumah, lingkungan sekitar termasuk di Indonesia dan dunia.
2. Tekankan pembagian macam-macam manfaat bioteknologi pada berbagai bidang kehidupan.

// Refleksi Pembelajaran //

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

// Tindak Lanjut Pembelajaran //

1. Ajak peserta didik membaca informasi dan berdiskusi seputar bioinformatika.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik membaca dan berdiskusi sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.1

1. Permasalahan yang ditemukan, yaitu setiap produk makanan mempunyai bahan dan jenis agen biologi sendiri-sendiri.
2. Ya, setiap produk makanan mempunyai bahan dan agen biologi yang berbeda-beda.
3. Berikut contoh tabel hasil diskusi.

No.	Jenis Produk	Bahan Dasar	Agen Biologis
1.	Tempe	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i>
2.	Kecap	Kedelai hitam	<i>Aspergillus wentii</i>
3.	Mentega	Susu	<i>Lactobacillus lactis</i>
4.	Singkong	Tape	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

Aktivitas 4.2

No.	Tahun	Penemuan
1.	2018	<i>Stem cell</i> menyembuhkan penderita kebutaan.
2.	2019	Penemuan obat cystic fibrosis.
3.	2020	Vaksin mRNA Pfiser dan Modena untuk Covid 19.
4.	2021	Rekayasa DNA bayi untuk mencegah HIV dan <i>Internet of Behavior</i> (IOB).
5.	2022	Komputasi kuantum "Human Augmentation".

Aktivitas 4.3

1. Hasil pengamatan virtual

No.	Bidang Kehidupan	Permasalahan yang Dipecahkan	Bahan Dasar	Agen Biologi	Hasil/Produk
1.	Lingkungan	Pencemaran air limbah	Limbah cair industri	Bakteri anaerob dan aerob	Air sesuai baku mutu air
2.	Pertanian	Produktivitas tanaman	Gen tanaman dan gen donor	Plasmid, enzim restriksi, dan ligase	Tanaman transgenik

3.	Kesehatan	Pengobatan penyakit kanker	Leukosit dan sel kanker	Enzim	Antibodi monoklonal
4.	Energi	Ketersediaan energi dan pengurangan pencemaran lingkungan	Kotoran ternak dan limbah organik	Enzim	Biogas

2. Hasil diskusi yang diharapkan

Bioteknologi mempunyai kebermanfaatan dengan menjadi solusi dari masalah kehidupan manusia, antara lain:

a. Masalah pencemaran lingkungan

- 1) Teknik bioremediasi pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan bakteri aerob *Bacillus* sp., bakteri anaerob seperti *Acinetobacter* sp., *Staphylococcus* sp., *Cardiobacterium* sp., dan *Mycoplasma* sp..
- 2) Teknik biodegradasi plastik oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas chlororaphis*, dan *Pseudomonas fluorescens* untuk plastik PE, PVC, dan PP, sedangkan *Ideonella sakaiensis* untuk plastik PET.
- 3) Teknik bioremediasi polutan minyak bumi di laut menggunakan *Marinobacter*, *Oceanobacter*, *Alcanivorax*, *Thalassospira*, *Stappia*, *Bacillus*, *Novosphingobium*, *Pseudomonas*, *Sphingobium*, dan *Rhodobacter*. Adapun *Alcanivorax nanhaitikus* dan *Halomonas meridian* mampu mendegradasi minyak solar sebesar 52 – 72%.

b. Masalah produktivitas pertanian dan perkebunan

- 1) Kultur jaringan untuk penyediaan bibit unggul dengan jumlah banyak dan seragam,
- 2) Bioinsektisida untuk pemberantasan hama ramah lingkungan yang efektif dan efisien.
- 3) Teknologi transgenik menghasilkan tanaman transgenik, antara lain kapas, kedelai, jagung, dan padi.

c. Masalah kesehatan

- 1) Produksi antibiotik baik secara konvensional maupun rekayasa genetika untuk membunuh patogen berupa bakteri dan jamur.

- 2) Produksi interferon, yaitu sejenis protein yang membantu mengatur kerja sistem kekebalan tubuh. Obat ini berperan melawan infeksi virus, pengaktifan sel-sel imun, dan menghambat pertumbuhan sel tumor.
 - 3) Produksi vaksin untuk membangun dan menguatkan sistem kekebalan tubuh dari serangan patogen.
 - 4) Produksi antibodi monoklonal, yaitu antibodi yang diproduksi dengan teknik hibridoma atau fusi sel dan berfungsi mendeteksi antigen yang sulit terdeteksi di awal, seperti sel kanker.
 - 5) Produksi hormon insulin dengan teknik DNA rekombinan pada *E. coli* untuk menyembuhkan penderita diabetes melitus.
 - 6) Terapi gen dilakukan dengan *stem cell* dan kloning. Teknologi *stem cell* memungkinkan penderita stroke atau penyakit lain yang mengakibatkan kerusakan pada jaringan tubuh dapat sembuh.
- d. Masalah peternakan terkait dengan reproduksi dan lambatnya pertumbuhan ternak
- 1) Inseminasi buatan merupakan teknologi reproduksi yang bertujuan memanfaatkan seekor hewan jantan unggul secara maksimal dengan cara memasukkan sperma ke dalam saluran alat kelamin betina dengan *insemination gun*.
 - 2) Transfer embrio merupakan pemindahan embrio yang bersifat unggul pada induk yang tidak harus unggul sehingga dihasilkan anakan yang bersifat unggul.
 - 3) Kriopreservasi embrio merupakan cara menyimpan embrio dalam bentuk beku yang bertujuan menyimpan, pemeliharaan, menjamin, dan mempertahankan kelangsungan hidup sel.
 - 4) Transplantasi nukleus (kloning) merupakan teknologi untuk menghasilkan individu duplikasi (mirip dengan induknya).
 - 5) Rekayasa genetika merupakan teknologi untuk menghasilkan hormon pertumbuhan sintesis, seperti rBST dan penyisipan gen agar dihasilkan ternak yang cepat mengalami pertumbuhan.
- e. Masalah ketersediaan energi terbarukan untuk mengurangi tingkat pencemaran udara, antara lain diatasi dengan produksi bioetanol, biodiesel, dan biogas.
- f. Masalah inovasi jenis tanaman baru dan penganekaragaman bahan makanan dan makanan olahan

- 1) Teknologi bioproses melalui fermentasi, yaitu produksi tempe, kecap, mentega, keju, tape, yoghurt, dan anggur.
 - 2) Teknologi rekayasa genetika yang menghasilkan *golden rice* dan jagung transgenic.
- g. Masalah akurasi atau ketepatan identifikasi (*post mortem*) korban kecelakaan dan bencana alam, maupun penentuan ayah biologi seorang anak dengan uji kecocokan DNA.

Pertemuan Kedua dan Ketiga

Subbab : Jenis Bioteknologi dan Cabang Ilmu yang Berperan dalam Bioteknologi

Alokasi waktu : 2 kali pertemuan/4 jam pelajaran

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik dapat menganalisis perbedaan bioteknologi konvensional dan modern melalui pengamatan gambar.
2. Peserta didik dapat menganalisis cabang-cabang ilmu biologi yang terlibat dalam inovasi bioteknologi secara lengkap melalui penggambaran pohon cabang biologi yang berkontribusi pada bioteknologi.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari substansi genetika.
2. Peserta didik telah mempelajari definisi dan manfaat bioteknologi.

Tahapan Pembelajaran

Pertemuan Kedua

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali perkembangan penemuan berbagai inovasi bioteknologi.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apa yang membedakan temuan inovasi sebelum dan sesudah tahun 1944?

- b. Coba diingat, apakah bahan, agen biologi, dan macam produk inovasi teknologi biologi sebelum dan sesudah tahun 1944?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi bioteknologi sebelum dan sesudah tahun 1944 memerlukan bahan, agen biologi, dan jenis produk berbeda. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi bioteknologi sesudah tahun 1944. Tekankan bahwa inovasi bioteknologi sesudah 1944 dapat menghasilkan produk berupa barang dan jasa yang dapat membantu memecahkan permasalahan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat tentang produk inovasi bioteknologi berupa tempe dan tanaman transgenik.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Bagaimana urutan pembuatan tempe?
 - b. Bagaimana urutan pembuatan tanaman transgenik?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi bioteknologi pada tempe dan tanaman transgenik mempunyai urutan yang berbeda. Kemudian, ajak mereka menemukan teknologi yang diterapkan. Tekankan bahwa ada perbedaan teknologi dalam menghasilkan produk berupa barang dan jasa yang dapat membantu memecahkan permasalahan kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta melakukan pengamatan bagan proses pembuatan tempe dan tanaman transgenik sesuai petunjuk Aktivitas 4.4.
2. Minta peserta didik berdiskusi tentang perbedaan pembuatan tempe dan tanaman transgenik pada Aktivitas 4.4 dengan mengaitkan materi yang ada pada bagian perbedaan bioteknologi konvensional dan modern. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Mintalah peserta didik untuk mempresentasikan hasilnya.
4. Tekankan komponen perbedaan antara bioteknologi konvensional dan modern.
5. Ajak peserta didik mengingat macam-macam teknologi yang diterapkan produk bioteknologi konvensional maupun modern yang sudah dipasarkan. Tekankan pada mereka bahwa teknologi rekayasa genetika akan menjadi alternatif untuk mengatasi permasalahan kehidupan.

6. Minta peserta didik mengerjakan laporan Aktivitas 4.5. Kemudian, minta mereka berdiskusi dan memaparkan hasil literasinya.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena hidup lebih mudah dengan aplikasi rekayasa genetika pada bioteknologi modern.

Pertemuan Ketiga

Aplikasi Konsep

1. Ajak peserta didik membuat pohon bioteknologi sesuai petunjuk pada Aktivitas 4.6.
2. Arahkan mereka untuk menyajikannya hasilnya dalam bentuk video presentasi dan mengunggahnya di media sosial.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik membaca informasi dan berdiskusi seputar cabang ilmu yang berkontribusi pada bioteknologi.
2. Ajak peserta didik melakukan Aktivitas 4.7, yaitu membuat pohon cabang ilmu biologi yang berkontribusi pada bioteknologi. Kemudian, menyajikannya dalam bentuk video presentasi dan mengunggahnya di media sosial.
3. Perhatikan bagaimana proses peserta didik membaca dan berdiskusi sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.4

- Berikut tabel perbedaan tahapan pembuatan tempe dan tanaman transgenik.

No.	Variabel Pembeda	Tahapan Pembuatan Tempe	Tahapan Pembuatan Tanaman Transgenik
1.	Bahan	Kedelai	Gen induk dan gen donor
2.	Proses	Nonsteril	Steril
3.	Teknologi	Fermentasi	Rekayasa genetika
4.	Produk	Tempe	Tanaman transgenik

- Hasil diskusi yang diharapkan:

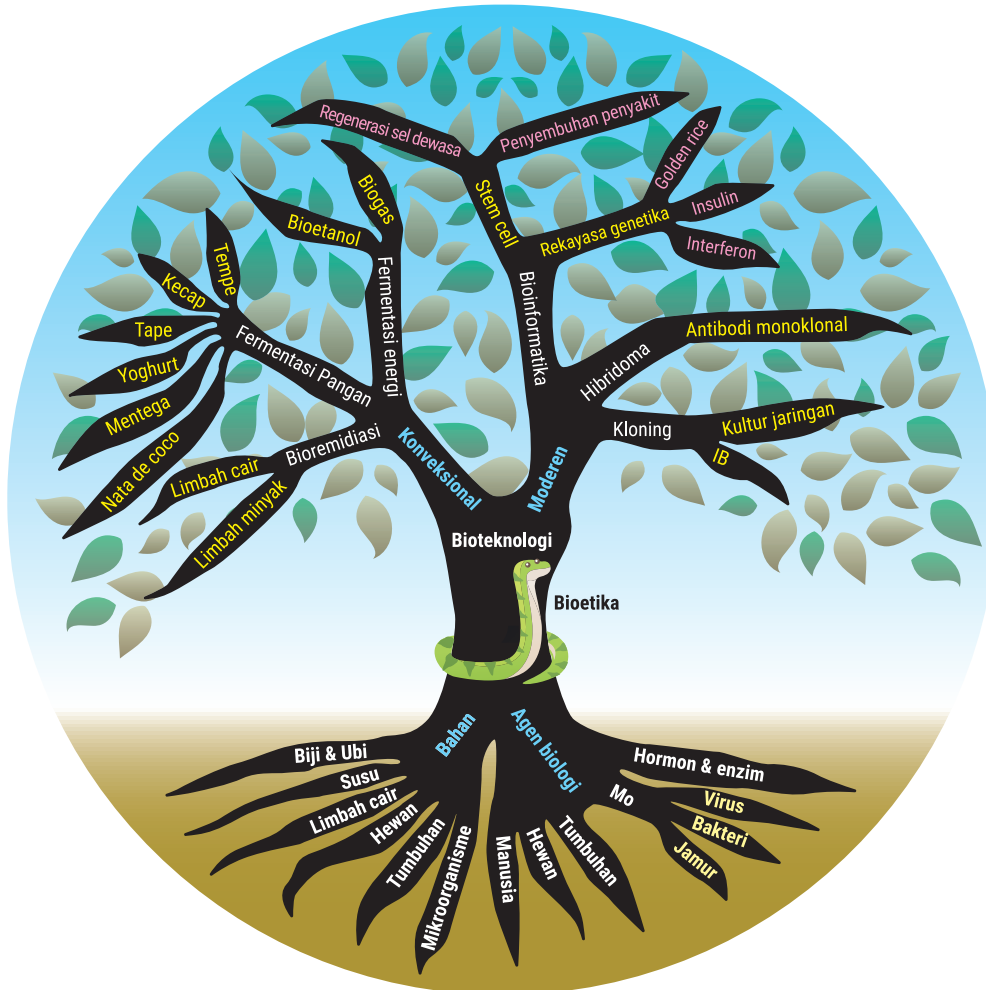
Perbedaan bioteknologi konvensional dan modern tidak hanya pada teknologi yang diterapkan saja, namun ada beberapa variabel pembeda lainnya. Secara lebih lengkap, berikut tabel perbedaan bioteknologi konvensional dan modern.

No.	Variabel pembeda	Bioteknologi		Referensi
		Konvensional	Modern	
1.	Waktu	Mulai 6000 SM.	Tahun 1953 ditandai penemuan struktur DNA oleh Watson & Crick	Jean L. Marx. 1991
2.	Kondisi proses	Nonsteril	Steril	Jean L. Marx. 1991
3.	Teknologi	Fermentasi	Rekayasa genetika dan teknologi reproduksi	Jean L. Marx. 1991
4.	Agen biologi	Langsung dan utuh serta sifat organisme tidak berubah	Tidak langsung dan hanya sebagian serta dapat mengubah sifat organisme	Deden Indra Dinata. 2017
5.	Biaya	Relatif murah	Mahal	Deden Indra Dinata. 2017
6.	Keterampilan pelaku	Awam, secara turun menurun	Pakar dengan dasar keilmuan yang mendalam	Belinda Arbitya Dewi. 2021

7.	Produk	Tempe, tape, yoghurt, <i>nata de coco</i>	Tanaman dan hewan transgenik, interferon, antibodi monoklonal, dan hormon insulin sintetis	Belinda Arbitya Dewi. 2021
----	--------	---	--	----------------------------

Aktivitas 4.6

Berikut gambar pohon bioteknologi yang diharapkan.



Gambar 4.6 Pohon bioteknologi.

Aktivitas 4.7

Berikut contoh tabel analisis terkait bahan, macam agen biologi, dan aktivitas agen biologi dalam proses pembentukan tempe.

Temuan Bioteknologi	Hasil Analisis Bahan Baku, Agen Biologi, dan Aktivitas Agen Biologi	Macam Ilmu/ Cabang
Tempe	Bahan: kedelai, kacang hijau, kacang gude, kacang bogor	Botani
	Agen biologi: <i>Rhizopus oryzae</i> dan <i>Rhizopus oligosporus</i>	Mikologi
	bakteri laktat dan bakteri asetat (proses perendaman)	Bakteriologi
	Aktivitas agen biologi: menghasilkan enzim protease, amilase, dan lipase serta fitase	Enzimologi
	Proses pemecahan: 1. protein menjadi asam amino 2. amilum menjadi maltosa 3. lemak menjadi asam lemak dan gliserol 4. asam fitat menjadi inositol, K, dan P	Biokimia

Berikut pohon kontribusi cabang ilmu pada bioteknologi proses pembuatan tempe.



Gambar 4.7 Pohon kontribusi cabang ilmu bioteknologi pada proses pembuatan tempe.

Pertemuan Keempat

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Konvensional
Alokasi waktu : 1 kali pertemuan /2 jam pelajaran (JP)

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu memberi saran inovasi pembuatan tempe dan pemanfaatan bioteknologi pada bidang lain melalui pengerjaan proyek inovasi tempe sempurna.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari macam-macam jamur *Rhizopus* sp. dan manfaatnya.
2. Peserta didik telah mempelajari prinsip bioteknologi konvensional.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali hasil diskusi tentang contoh produk bioteknologi konvensional.
2. Tanyakan hal berikut tentang bioteknologi konvensional yang hampir setiap hari dikonsumsi peserta didik.
 - a. Seberapa sering kalian mengonsumsi tempe dalam seminggu?
 - b. Mengapa kalian sering mengonsumsi tempe?
 - c. Coba diingat, apakah bahan dan agen biologi yang digunakan untuk membuat tempe?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi dari bahan dasar tempe selain kedelai menghasilkan jenis produk tempe yang berbeda. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi tempe yang tidak berbahan dari kedelai. Tekankan bahwa inovasi pembuatan tempe dengan bahan selain kedelai dapat menghasilkan produk tempe yang mengandung protein lebih tinggi sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati gambar tempe dan orang yang sedang mengonsumsi tempe.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah kalian mengamati gambar, hal apakah yang mengesankan dari gambar tersebut?
 - b. Seberapa sering kalian mengonsumsi tempe dalam seminggu?
 - c. Mengapa kalian sering mengonsumsi tempe?
 - d. Coba diingat, apakah bahan dan agen biologi yang digunakan untuk membuat tempe?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi dari bahan dasar tempe selain kedelai dapat menghasilkan jenis produk tempe yang berbeda. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi tempe yang tidak berbahan kedelai. Tekankan bahwa inovasi pembuatan tempe dengan bahan selain kedelai dapat menghasilkan produk tempe yang mengandung protein lebih tinggi sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Ajak peserta didik melakukan literasi jurnal sesuai petunjuk Aktivitas 4.8.
2. Minta peserta didik menjawab pertanyaan pada Aktivitas 4.8 dengan berdiskusi.
3. Minta peserta didik menuliskan hasil diskusi pada tabel dengan mengaitkan materi pada bagian macam-macam alternatif bahan pembuat tempe. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Tekankan dasar paling penting yang harus diperhatikan untuk dapat menjadi bahan pengganti kedelai dalam pembuatan tempe.
5. Minta peserta didik mengerjakan laporan dari Aktivitas 4.9 untuk kemudian memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya.
6. Minta peserta didik membaca subbab mengenai macam agen biologi dan bioteknologi pada tempe.
7. Tekankan pada peserta didik mengenai jenis jamur dan perannya dalam menghasilkan enzim serta peran masing-masing enzim dalam menambah zat gizi pada tempe dan manfaat tempe bagi kesehatan.

8. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena temuan alternatif bahan pembuat tempe selain kedelai untuk kesehatan.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang pada tahap mana saja agen biologi jamur *Rhizopus oryzae* dan *Rhizopus oligosporus* bekerja dan bagaimana perannya dalam pembuatan tempe.
2. Tekankan bahwa fermentasi tempe menggunakan jamur *Rhizopus* sp. dapat meningkatkan kadar gizi tempe sehingga ketika dikonsumsi mudah diserap tubuh.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.9 sebagai tugas kelompok yang dikerjakan di rumah.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan proyek pada Aktivitas 4.9 sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.8

3. a. Ya, ada kacang hijau, kacang tanah, kacang koro, kacang gude, dan kacang bogor.
b. Ya pada beberapa kacang seperti kacang tanah dan koro pedang mempunyai kandungan protein lebih tinggi dibandingkan kedelai. Berikut tabel perbedaan kandungan protein bahan pembuat tempe dari kedelai dan nonkedelai.

No	Bahan	Spesies Jamur dan Perannya	Kandungan Protein
Kedelai			
1.	Kedelai	<i>Rhizopus oryzae</i> <i>Rhizopus oligosporus</i>	20,80%

Nonkedelai			
1.	Kacang gude	<i>Rhizopus oryzae</i> <i>Rhizopus oligosporus</i>	16,05%
2.	Lamtoro gung		7,94%
3.	Kacang tanah		28,50%
4.	Kacang hijau		22,20%
5.	Kacang bogor		18,39%
6.	Koro benguk		31,35%
7.	Koro pedang		38,04%

4. Berikut langkah-langkah pembuatan tempe yang dapat dilakukan.
 - a. Timbang masing-masing bahan sebanyak 90 gram.
 - b. Rendam masing-masing bahan di dalam air selama 24 jam.
 - c. Bersihkan dan kupas kulit biji masing-masing bahan sampai bersih dengan membilas pada air mengalir.
 - d. Rebus atau kukus kedelai selama 30 menit.
 - e. Tiriskan bahan yang telah direbus sampai suhu 25°C.
 - f. Taburkan 1gram usar pada masing-masing bahan dan aduk hingga merata
 - g. Masukkan bahan yang telah diberi usar pada pembungkus plastik. Masing-masing bungkus sebanyak 30 gram sehingga setiap bahan menjadi 3 bungkus.
 - h. Tusuk plastik pembungkus dengan lidi atau jarum di beberapa tempat.
 - i. Fermentasikan tempe dalam waktu 48 sampai 72 jam.
 - j. Amati pertumbuhan hifa jamur setiap 12 jam. Hentikan pengamatan ketika seluruh bagian bahan ditutupi hifa jamur.
 - k. Letakkan tempe di atas meja. Lakukan pengujian organoleptik untuk tekstur tempe dengan meraba dan menekan dengan tangan. Catat hasilnya dalam bentuk keras atau lembek dan halus atau kasar.
 - l. Lakukan pengujian organoleptik untuk rasa tempe dengan merasakan tempe mentah dengan lidah, Catat hasilnya dalam bentuk rasa manis, asin, pahit, asam, atau tidak berasa.
 - m. Lakukan pengujian lama waktu simpan dengan meletakkan tempe di meja terbuka dan di dalam lemari pendingin. Amati setiap 6 jam sekali. Hentikan pengamatan ketika tekstur tempe sudah menjadi lembek, warna mulai menjadi cokelat atau hitam. Catat hasilnya dalam tabel.

5. Tabel hasil pengamatan.

a. Tabel 1. Hasil Pengamatan Lama Waktu Fermentasi Tempe.

Ulangan	A (kedelai)	B (kacang hijau)	C (kacang tanah)	D (kacang koro)
1	48 jam	48 jam	60 jam	48 jam
2	48 jam	48 jam	48 jam	60 jam
3	60 jam	60 jam	60 jam	60 jam
Rerata	52 jam	52 jam	56 jam	56 jam

b. Tabel 2. Hasil Pengamatan Tekstur Tempe.

Ulangan	A (kedelai)	B (kacang hijau)	C (kacang tanah)	D (kacang koro)
1	Halus	Halus	Agak kasar	Agak kasar
2	Halus	Halus	Agak kasar	Agak kasar
3	Halus	Halus	Agak kasar	Agak kasar
Rerata	Halus	Halus	Agak kasar	Agak kasar

c. Tabel 3. Hasil Pengamatan Rasa Tempe.

Ulangan	A (kedelai)	B (kacang hijau)	C (kacang tanah)	D (kacang koro)
1	Gurih	Agak hambar	Gurih	Gurih
2	Gurih	Agak hambar	Gurih	Gurih
3	Gurih	Agak hambar	Gurih	Gurih
Rerata	Gurih	Agak hambar	Gurih	Gurih

d. Tabel 4. Hasil Pengamatan Lama Simpan Tempe.

Ulangan	A (kedelai)	B (kacang hijau)	C (kacang tanah)	D (kacang koro)
1	48 jam	48 jam	48 jam	48 jam
2	48 jam	48 jam	48 jam	48 jam
3	48 jam	48 jam	48 jam	48 jam
Rerata	48 jam	48 jam	48 jam	48 jam

6. a. Jenis biji bahan pembuat tempe terbukti berpengaruh pada lama waktu fermentasi di mana untuk kacang kedelai dan kacang hijau hanya membutuhkan waktu 48 jam. Adapun untuk kacang tanah dan kacang koro membutuhkan waktu 56 jam.

- b. Jenis biji berpengaruh pada tekstur tempe di mana pada tempe kedelai dan kacang hijau mempunyai tekstur halus, sedangkan tempe kacang tanah dan kacang koro bertekstur agak kasar.
- c. Jenis biji berpengaruh pada rasa tempe di mana pada tempe kedelai, tempe kacang tanah, dan tempe kacang koro terasa gurih, sedangkan tempe kacang hijau mempunyai rasa agak hambar.
- d. Jenis biji tidak berpengaruh pada masa simpan tempe di mana pada semua jenis tempe hanya bertahan selama 48 jam.
- e. Semua jenis biji yang diujicobakan dalam pembuatan tempe dapat dibuat menjadi tempe jadi dan semuanya layak konsumsi.

Aktivitas 4.9

Setelah peserta didik membaca hasil observasi dan berdiskusi, diharapkan mereka akan melakukan percobaan dengan langkah berikut.

Identifikasi dan Perumusan Permasalahan

Setelah peserta didik membaca hasil observasi dan berdiskusi, diharapkan mereka akan melakukan percobaan dengan langkah berikut.

Identifikasi Permasalahan Penelitian

1. Kurang gizi secara kronis terutama protein, yaitu keseimbangan asupan protein nabati dan hewani.
2. Kebiasaan makan dengan lauk tempe saja sehingga kekurangan asupan protein hewani.
3. Pengayaan tempe dengan tepung protein hewani yang belum banyak dimanfaatkan masyarakat, seperti tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang.

Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana pengaruh penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang (tepung hewani) pada kandungan gizi tempe?
2. Bagaimana pengaruh penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang (tepung hewani) pada warna, bau, rasa, dan daya tahan tempe?

Menyusun Hipotesis

1. Penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang (tepung hewani) dapat meningkatkan kandungan gizi pada tempe, terutama protein hewani. Hal ini dikarenakan jenis tepung tersebut mengandung protein hewani tinggi, selain karbohidrat dan lemak.
2. Penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang (tepung hewani) tidak mengubah warna, bau, rasa, dan daya tahan tempe. Hal ini dikarenakan tepung berwarna putih, tidak berbau, dan tidak berasa.

Merancang dan Melakukan Penelitian

1. Menentukan waktu dan tempat penelitian

Tempat penelitian di laboratorium Biologi dengan jadwal waktu sebagai berikut.

No.	Kegiatan	Waktu
1.	Menyusun proposal penelitian	5 hari
2.	Melengkapi bahan penelitian	7 hari
3	Melakukan penelitian	7 hari
4	Melakukan analisis data	5 hari
5	Menyusun laporan	5 hari
6	Mempersiapkan presentasi	5 hari
7	Presentasi hasil penelitian	4 hari

2. Menentukan variabel

a. Variabel bebas

Tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang (tepung hewani) yang tergambar pada macam perlakuan:

A = 0 gram tepung hewani/100 gram kedelai

B = 5 gram tepung hewani/100 gram kedelai

C = 10 gram tepung hewani/100 gram kedelai

b. Variabel terikat

Kadar gizi dan ciri fisik tempe dengan jenis data:

- 1) kadar protein total
- 2) warna
- 3) rasa
- 4) bau
- 5) daya tahan

3. **Menentukan alat dan bahan**

Berdasarkan macam perlakuan dan jenis data yang akan diambil, berikut alat dan bahan yang diperlukan.

a. Alat

- 1) Ember
- 2) Panci
- 3) Tampah/nampan
- 4) Kompor
- 5) Takaran
- 6) Timbangan
- 7) Rak

b. Bahan

- 1) Kedelai 1 kg
- 2) Tepung hewani 100 gram
- 3) Ragi tempe 20 gram
- 4) Daun pisang
- 5) Tali/karet
- 6) Air

4. **Menentukan langkah kerja**

a. Penyiapan bahan untuk perlakuan dan dosis atau kadar perlakuan.

1. Timbang 1 kg kedelai dan rendam dalam ember bersisi air selama 24 jam.
2. Kupas kulit biji kedelai dan bilas dengan air bersih.
3. Rebus kedelai kupas dalam panci berisi air selama 30 menit.
4. Tiriskan kedelai hasil rebusan sampai suhu 35°C - 40°C.
5. Timbang kedelai sebanyak 300 gram untuk masing-masing perlakuan A, B, dan C.

6. Dari 300 gram kedelai tadi, bagi masing-masing 100 gram untuk A1, A2, dan A3. Lakukan hal yang sama untuk B1, B2, dan B3 serta C1, C2, dan C3.
- b. Penyiapan subjek penelitian, termasuk teknik sampling yang digunakan serta jumlah pengulangan yang akan dilakukan.
 - 1) Teknik sampling untuk kedelai A untuk perlakuan jenis apa, juga B dan C untuk jenis apa, dilakukan teknik sampling acak yang dilakukan dengan pengundian.
Hasil pengundian sebagai berikut.
Perlakuan A untuk perlakuan kontrol (tanpa penambahan tepung hewani).
Perlakuan B untuk penambahan tepung hewani sebesar 5 gram/100 gram kedelai.
Perlakuan C untuk penambahan tepung hewani sebesar 10 gram/100 gram kedelai.
 - 2) Pengulangan untuk setiap perlakuan dilakukan 3 kali yang ditunjukkan dengan A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, dan C3.
 - 3) Untuk perlakuan A, B, C dan ditambahkan ragi sebanyak 2 gram usar/ 100 gram kedelai dan dicampurkan hingga merata.
 - 4) Semua perlakuan dibungkus dengan plastik transparan. Kemudian, buat ruang udara dengan melubangi di beberapa bagian plastik dengan jumlah lubang yang sama pada setiap plastik.
 - 5) Semua perlakuan difermentasikan selama 48 jam.
- c. Cara pemerolehan data
 - 1) Uji fisik tempe
 - a. Uji warna tempe
Tempe diperlihatkan kepada para naracoba dan dipersilakan menyebutkan warna tempe dengan diberi pembandingan warna tua dan mudanya.
 - b. Uji rasa
Tempe dicoba rasakan pada lidah para naracoba dan dipersilakan menyebutkan rasa serbuk yang muncul.
 - c. Uji bau
Tempe dicoba baukan pada hidung para naracoba dan dipersilakan menyebutkan bau serbuk yang muncul.
 - d. Uji daya simpan tempe

Tempe yang masih dibungkus diletak di meja dan di lemari pendingin. Lakukan pengamatan warna, tekstur, dan bau setiap 6 jam sekali. Jika tempe sudah berwarna cokelat, teksturnya lembek, dan muncul bau tidak sedap berarti tempe sudah busuk.

- 2) Cara uji kadar protein tempe (metode Kjeldahl)
 - a) Timbang 0,51 g contoh sampel. Kemudian, masukkan ke dalam labu Kjeldahl 100 ml.
 - b) Tambahkan 2 g campuran selen dan 25 ml H₂SO₄ pekat.
 - c) Panaskan di atas pemanas listrik sampai mendidih dan larutan menjadi jernih kehijau-hijauan (sekitar 2 jam).
 - d) Biarkan dingin, kemudian encerkan dan masukkan ke dalam labu ukur 100 ml, tepatkan sampai tanda garis.
 - e) Pipet 5 ml larutan dan masukkan ke dalam alat penyuling. Kemudian, tambahkan 5 ml NaOH 30% dan beberapa tetes indikator PP.
 - f) Suling selama kurang lebih 10 menit, kemudian sebagai penampung gunakan 10 ml larutan asam borat 2% yang telah dicampur indikator PP.
 - g) Bersihkan ujung pendingin dengan air suling.
 - h) Titar dengan larutan HCl 0,01 N.
 - i) Kerjakan penetapan blanko.

(jika uji untuk mengetahui kandungan protein total tidak memungkinkan, dapat dilakukan studi pustaka pada jurnal penelitian mengenai kandungan protein tempe dengan menambahkan protein dari tepung hewani yang dipakai)

Data Hasil Penelitian

Tabel 1. Hasil Pengamatan Warna Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Putih	Putih	Putih keruh
2	Putih	Putih	Putih keruh
3	Putih	Putih	Putih keruh

Tabel 2. Hasil Pengamatan Rasa Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Tawar	Tawar	Agak gurih
2	Tawar	Tawar	Agak gurih
3	Tawar	Tawar	Agak gurih

Tabel 3. Hasil Pengamatan Bau Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Wangi	Wangi	Agak wangi
2	Wangi	Wangi	Agak wangi
3	Wangi	Wangi	Agak wangi

Tabel 4. Hasil Pengamatan Daya Tahan Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	48 jam	60 jam	48 jam
2	48 jam	60 jam	48 jam
3	48 jam	60 jam	48 jam
Rerata	48 jam	60 jam	48 jam

Tabel 5. Hasil Pengamatan Kadar Protein Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	20,4%	28,2%	34,4%
2	20,8%	27,4%	35,2%
3	21,2%	29,6%	35,4%
Rerata	20,8%	28,4%	35,0%

Melakukan Analisis Data

1. Warna Tempe

Tabel 1. Hasil Pengamatan Warna Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Putih	Putih	Putih keruh
2	Putih	Putih	Putih keruh
3	Putih	Putih	Putih keruh

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa penambahan tepung hewani sebesar 5 gram/100 gram kedelai tidak mengubah warna. Tempe tetap berwarna putih seperti tempe yang tidak ditambahkan tepung hewani. Namun, penambahan tepung hewani 10 gram/100 gram kedelai sedikit menjadikan warna menjadi putih keruh. Perubahan warna ini dikarena tepung hewani sebanyak 10 gram/100 gram kedelai tidak mampu ditutup secara sempurna oleh hifa jamur *Rhizopus* sp. secara tepat sehingga menghasilkan warna putih keruh. Secara keseluruhan warna tempe tetap putih.

2. Rasa Tempe

Tabel 2. Hasil Pengamatan Rasa Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Tawar	Tawar	Agak gurih
2	Tawar	Tawar	Agak gurih
3	Tawar	Tawar	Agak gurih

Berdasarkan hasil uji organoleptik pada Tabel 2 terlihat perlakuan kontrol dan perlakuan dengan penambahan tepung hewani 5 gram/100 gram kedelai mempunyai rasa tawar, sedangkan perlakuan penambahan tepung hewani 10 gram/100 gram kedelai terasa agak gurih. Pada perlakuan ini, rasa tepung hewani mulai mengubah rasa menjadi lebih gurih. Berdasarkan hal tersebut penambahan tepung hewani dapat mengubah rasa tempe yang tawar menjadi agak gurih yang mengindikasikan adanya kandungan protein di dalam tempe.

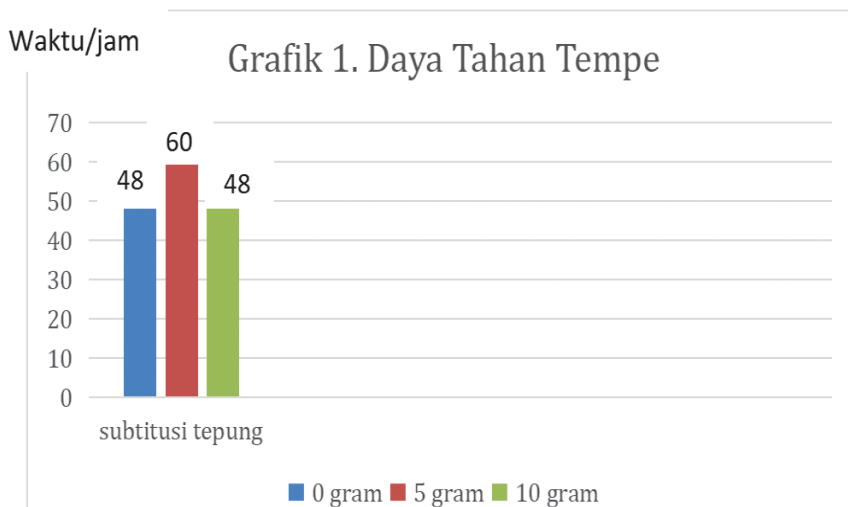
3. Bau Tempe

Tabel 3. Hasil Pengamatan Data Bau Tempe

Ulangan	Penambahan Tepung Hewani		
	A (0 gram/100 gram kedelai)	B (5 gram/100 gram kedelai)	C (10 gram/100 gram kedelai)
1	Wangi	Wangi	Agak wangi
2	Wangi	Wangi	Agak wangi
3	Wangi	Wangi	Agak wangi

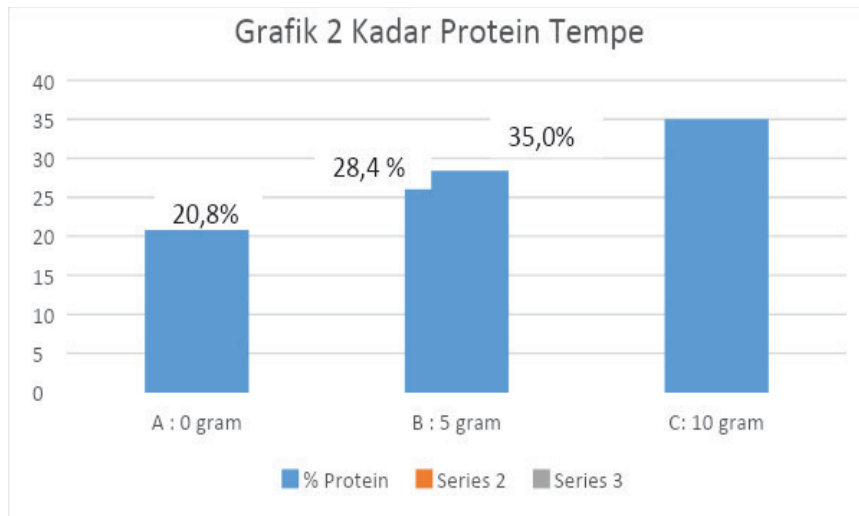
Berdasarkan hasil pada Tabel 3 terlihat bahwa bau tempe pada perlakuan kontrol dan penambahan tepung hewani sebesar 5 gram/100 gram kedelai tidak mengubah bau, yaitu baunya masih tetap wangi. Namun, pada penambahan tepung hewani 10 gram/100 gram kedelai ternyata mampu mengurangi bau wangi menjadi agak wangi. Pengurangan ini terjadi karena tepung hewani dapat menyerap bau wangi tempe sehingga menjadi agak wangi.

4. Daya Tahan Tempe



Berdasarkan hasil pengujian daya tahan tempe pada Grafik 1 terlihat bahwa masa simpan tempe yang paling lama terjadi pada perlakuan penambahan tepung hewani 5 gram /100 gram kedelai, yaitu selama 60 jam. Adapun perlakuan kontrol dan penambahan tepung hewani sebesar 10 gram/100 gram kedelai hanya mampu bertahan selama 48 jam.

4. Kandungan Protein Tempe



Berdasarkan hasil uji kadar protein tempe seperti yang tertera pada Grafik 2 terlihat bahwa kandungan protein total tempe tertinggi pada perlakuan penambahan tepung hewani 10 gram/100 gram kedelai, yaitu sebesar 35,0%. Hal ini berarti meningkat 14,2% dibanding tempe pada perlakuan kontrol. Adapun pada perlakuan penambahan tepung hewani 5 gram/100 gram kedelai hanya menambah 7,6% protein dibandingkan dengan kontrol.

Menarik Kesimpulan

1. Penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang dapat meningkatkan kandungan gizi tempe, terutama protein hewani sebesar 7,6% untuk penambahan 5 gram/100 gram kedelai dan 14,2% untuk penambahan 10 gram/100 gram kedelai.
2. Penambahan tepung undur-undur laut, tepung telur pecah, tepung kerang, atau tepung belalang tidak mengubah warna, bau, rasa, dan daya tahan tempe, karena warna putih sampai putih keruh, berasa tawar sampai agak gurih, berbau wangi sampai agak wangi dan daya tahannya berkisar 48 – 60 jam.

Pertemuan Kelima

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Modern

Alokasi Waktu: 1 kali pertemuan/ 2 jam pelajaran.

Tujuan Pembelajaran

1. Peserta didik mampu memberi saran pemanfaatan bioteknologi modern melalui pengamatan infografis dan diskusi kelompok.
2. Memberikan argumentasi terhadap pemanfaatan bioteknologi modern dalam kehidupan manusia melalui infografis.

Pengetahuan Prasyarat

1. Peserta didik telah mempelajari macam-macam produk bioteknologi konvensional dan manfaatnya.
2. Peserta didik telah mempelajari prinsip bioteknologi modern.

Tahapan Pembelajaran

— Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali hasil diskusi tentang contoh-contoh produk bioteknologi modern.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Seberapa sering kalian mengenal bibit unggul hasil kultur jaringan dan tanaman transgenik?
 - b. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk membuat tanaman transgenik?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi kultur jaringan dan tanaman transgenik menghasilkan jenis tanaman baru. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi yang menghasilkan tanaman jenis baru di antaranya. tanaman yang mengandung protein dan vitamin lebih tinggi sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mempelajari infografis tanaman transgenik.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah mengamati dan mempelajari infografis, apa yang membuat kalian terkesan?
 - b. Mengapa kalian terkesan dengan tanaman pada infografis?
 - c. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk membuat tanaman transgenic pada infografis?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi tanaman transgenik menghasilkan jenis tanaman baru. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada inovasi yang menghasilkan tanaman jenis baru. Tekankan bahwa inovasi pembuatan tanaman jenis baru dapat menghasilkan tanaman yang mengandung protein dan vitamin yang lebih tinggi sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik melakukan pencermatan infografis dan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang tersedia pada Aktivitas 4.10.
2. Arahkan peserta didik menuliskan hasil diskusi dari jawaban pertanyaan pada tabel yang tersedia. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan dasar paling penting yang harus diperhatikan untuk dapat menciptakan produk dalam bioteknologi modern.
4. Minta peserta didik mengerjakan laporan Aktivitas 4.10. Kemudian, arahkan mereka untuk memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya.
5. Minta peserta didik membaca materi subbab Aplikasi Bioteknologi Modern.
6. Tekankan pada peserta didik macam teknologi yang menghasilkan produk bioteknologi modern serta perannya pada kehidupan.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena temuan alternatif penyelesaian masalah kehidupan melalui produk bioteknologi modern.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang bahan dan agen biologi serta bagaimana perannya dalam menciptakan produk bioteknologi modern.

2. Tekankan bahwa penciptaan produk bioteknologi modern dapat meningkatkan kualitas hidup manusia.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik menemukan dan mengajukan saran-saran pemanfaatan produk bioteknologi modern.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik menemukan dan mengajukan saran pemanfaatan produk bioteknologi modern sehingga dimensi kreatif, mandiri, bergotong royong, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.10

1. Berikut tabel hasil pengamatan infografis.

No.	Jenis Produk	Teknologi	Bidang Kehidupan
1.	Antibodi monoklonal	Hibrodoma	Kesehatan
2.	Vaksin	Rekayasa genetika	Kesehatan
3.	Tanaman transgenik	Rekayasa genetika	Pertanian
4.	Domba Dolly	Transfer inti	Peternakan

2. a. Berdasarkan hasil pengamatan infografis ditemukan 4 produk, yaitu antibodi monoklonal dan vaksin di bidang kesehatan, serta tanaman transgenik di bidang pertanian dan domba Dolly di bidang peternakan.
b. Teknologi rekayasa genetika digunakan untuk menghasilkan produk vaksin dan tanaman transgenik, teknologi hibridoma digunakan untuk menghasilkan antibodi monoklonal, dan teknologi transfer inti digunakan untuk menghasilkan domba Dolly.
c. Saran untuk pengembangan produk bioteknologi modern, di antaranya:
 - Antibodi monoklonal dapat lebih dikembangkan untuk menyembuhkan HIV-AIDS

- Percepatan dan ketepatan dalam pembuatan vaksin berbasis rekayasa genetika
- Perlu ditingkatkan keamanan terkait senyawa bersifat racun dan allergen pada tanaman transgenik.

Pertemuan Keenam

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Modern pada Kultur Jaringan
Alokasi Waktu: 1 kali pertemuan /2 Jam Pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern melalui kultur jaringan setelah melakukan pengamatan virtual dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari teknologi yang diterapkan pada bioteknologi modern.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik melihat gambar bibit tanaman yang seragam dalam jumlah banyak.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Teknologi apakah yang digunakan untuk menghasilkan bibit tanaman yang seragam dalam jumlah besar?
 - b. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk membuat kultur jaringan?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi kultur jaringan dapat menghasilkan bibit tanaman yang seragam dalam jumlah banyak. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada kultur jaringan yang menghasilkan bibit tanaman yang seragam dan jumlah banyak. Tekankan bahwa selain dapat menghasilkan tanaman yang seragam, kultur jaringan juga dapat menghasilkan tanaman yang

mengandung metabolit sekunder sebagai bahan kosmetik dan obat sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mempelajari infografis kultur jaringan.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah melihat dan mempelajari infografis, hal apa yang membuat kalian terkesan?
 - b. Mengapa kalian terkesan dengan tanaman pada infografis?
 - c. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan kultur jaringan?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi kultur jaringan dapat menghasilkan bibit tanaman yang seragam dalam jumlah banyak. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada kultur jaringan yang menghasilkan bibit tanaman yang seragam dan jumlah banyak. Tekankan bahwa selain dapat menghasilkan tanaman seragam, kultur jaringan juga dapat menghasilkan tanaman yang mengandung metabolit sekunder sebagai bahan kosmetik dan obat sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik mencermati tayangan pada *link* berikut.
<https://www.youtube.com/watch?v=qBB51meS4Cs>
Kemudian, minta peserta didik menjawab pertanyaan yang tersedia pada Aktivitas 4.11.
2. Minta peserta didik menuliskan hasil diskusi dari jawaban pertanyaan dalam bentuk PowerPoint. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan dasar dan syarat paling penting yang harus diperhatikan untuk dapat melakukan kultur jaringan.
4. Minta peserta didik mengerjakan laporan Aktivitas 4.11. Kemudian, minta mereka memaparkan hasil pengamatan dan analisisnya.
5. Minta peserta didik membaca materi kultur jaringan.
6. Tekankan pada peserta didik macam dasar dan prinsip dalam kultur jaringan serta perannya pada kehidupan.

7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena temuan alternatif bahan penyediaan bibit tanaman dan penghasil metabolit sekunder.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang bahan dan agen biologi serta bagaimana perannya dalam teknologi kultur jaringan.
2. Tekankan bahwa penerapan teknologi kultur jaringan dapat meningkatkan kualitas produk pertanian.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.12 sebagai tugas individu yang dikerjakan di rumah.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan proyek pada Aktivitas 4.12 sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.11

- a. Teori yang mendasari teknik kultur jaringan, yaitu teori sel dan teori totipotensi. Sel merupakan unit reproduksi yang menyatakan bahwa setiap sel berasal dari sel. Sel merupakan hasil reproduksi dari sel sebelumnya. Jadi, satuan terkecil dalam reproduksi adalah sel. Adapun teori totipotensi menyatakan bahwa setiap sel memiliki kapasitas untuk beregenerasi membentuk tanaman secara utuh dengan sifat yang sama persis dengan induknya.
- b. Syarat mutlak keberhasilan kultur jaringan, yaitu kondisi aseptik.
- c. Kultur jaringan merupakan teknik perbanyakan tanaman secara vegetatif dalam kondisi aseptik dengan medium dan kondisi tertentu di dalam wadah kaca sehingga teknik ini disebut kultur *in vitro*.

- d. Hampir semua jenis tanaman, seperti kelapa sawit, jati, padi, pisang, tebu, kedelai, dan anggrek dapat diperbanyak dengan kultur jaringan.
- e. Berikut keuntungan penerapan teknik kultur jaringan dalam penyediaan bibit.
 - 1) Menghasilkan bibit tanaman dalam jumlah banyak dan waktu relatif singkat dengan sifat fisiologi dan morfologi sama persis dengan induknya.
 - 2) Sifat bibit tanaman yang unggul.
 - 3) Bibit tanaman terhindar dari hama penyakit.
 - 4) Pengadaan bibit tanaman tidak bergantung musim.
- f. Berikut beberapa saran perbaikan terkait proses dan pemanfaatan kultur jaringan bagi kehidupan.
- g. Perlu insentif dari pemerintah bagi kelompok masyarakat dalam membangun laboratorium kultur jaringan sehingga harga bibit yang dihasilkan lebih murah.
- h. Perlu pelatihan dengan bahasa yang lebih mudah agar masyarakat mempunyai keahlian dalam mengerjakan pembuatan bibit tanaman dengan teknologi kultur jaringan.
- i. Perlu terobosan baru dengan teknologi hibridisasi dan rekayasa genetika untuk menghasilkan bibit tanaman yang mempunyai sifat-sifat lebih unggul, seperti sistem perakaran kuat, serta efisien pada pemupukan dan hemat air.

— Aktivitas 4.12

1. Berikut hasil analisis data berdasarkan tabel.
 - a. Persen keuntungan yang diperoleh jika hanya diusahakan bibit tanaman jati saja

$$\text{Keuntungan} = (31.475.929 / 85.127.071) \times 100\% = 36,975\%$$
 - b. Persen keuntungan yang diperoleh jika hanya diusahakan bibit tanaman pisang saja

$$\text{Keuntungan} = (4.985.826 / 140.724.000) \times 100\% = 3,54\%$$
 - c. Persen keuntungan yang diperoleh jika yang diusahakan bibit tanaman jati dan pisang

$$\text{Keuntungan} = (36.458.826 / 225.851.071) \times 100\% = 16,14\%$$

- d. Pada bibit tanaman jati dan pisang, langkah yang mesti dilakukan agar keuntungan ekonomi menjadi lebih tinggi, yaitu melakukan pembibitan hanya dalam botol saja karena dapat memperoleh keuntungan sebesar = $(37.120.950/69.450.000) \times 100\% = 53,44\%$.
- e. Usaha-usaha yang dapat dilakukan terkait teknik pemasaran agar dapat meningkatkan penerimaan, terutama untuk bibit jati jenis polybag dan pisang jenis botol, yaitu dapat dipasarkan secara *online* melalui media sosial, seperti Facebook, grup WA, dan Instagram. Selain pendekatan langsung pada kelompok tani, juga bisa dilakukan dengan pembayaran sistem kredit.

Pertemuan Ketujuh

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Modern pada Rekayasa Genetika
Alokasi Waktu: 1 kali pertemuan /2 Jam Pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern melalui rekayasa genetika setelah melakukan pengamatan infografis dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari teknologi yang diterapkan pada bioteknologi modern.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik melihat gambar beras emas, tomat, dan brokoli yang berwarna ungu.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Teknologi apakah yang digunakan untuk menghasilkan beras emas, tomat, dan brokoli ungu?
 - b. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk membuat tanaman rekayasa genetika?

3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi pada rekayasa genetika di antaranya dapat menghasilkan tanaman jenis baru, vaksin, dan hormon insulin. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada rekayasa genetika untuk menghasilkan tanaman transgenik, vaksin, dan hormon insulin tersebut. Tekankan bahwa rekayasa genetika dapat menghasilkan tanaman jenis baru sebagai bahan makanan, vaksin baru, dan hormon insulin sebagai bahan makanan, obat sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mempelajari infografis ayam tanpa bulu.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah mengamati infografis, hal apa yang membuat kalian terkesan?
 - b. Mengapa kalian terkesan dengan ayam tanpa bulu pada infografis?
 - c. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk menghasilkan ayam tanpa bulu?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi pada rekayasa dapat menghasilkan hewan transgenik. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada rekayasa genetika untuk menghasilkan hewan transgenik. Tekankan bahwa rekayasa genetika dapat menghasilkan hewan transgenik jenis baru sebagai bahan makanan sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik mencermati infografis dan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang tersedia pada Aktivitas 4.13.
2. Minta peserta didik menuliskan hasil jawaban dalam bentuk PowerPoint.
3. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Tekankan dasar dan syarat paling penting yang harus diperhatikan untuk dapat melakukan rekayasa genetika.
5. Minta peserta didik membaca materi mengenai rekayasa genetika dan organisme transgenik (GMO).
6. Tekankan pada peserta didik dampak positif dan negatif GMO pada kehidupan.

7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena temuan individu baru (GMO) sebagai alternatif memperbaiki kualitas tanaman dan hewan.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang kualitas penampilan, warna, rasa jika mengonsumsi tempe yang terbuat dari kedelai transgenik.
2. Tekankan bahwa penerapan teknologi rekayasa genetika dapat meningkatkan kualitas produk pertanian dan kesehatan.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.14 dan 4.15 sebagai penugasan lanjut tentang rekayasa genetika.
2. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan penugasan tersebut sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.13

- a. Proses yang terjadi pada tahapan pertama rekayasa genetika, yaitu mengisolasi dan menyalin materi genetik dari induk/donor. Adapun teknologi yang digunakan, yaitu DNA rekombinan.
- b. Plasmid adalah molekul DNA kecil berbentuk melingkar yang ditemukan pada bakteri dan terpisah dari kromosom. Fungsi plasmid dalam rekayasa genetika sebagai alat untuk mengkloning, mentransfer, dan memanipulasi gen.
- c. Peran plasmid dalam pemasangan dan penyisipan gen ke sel inang, yaitu menyambung DNA sel donor ke DNA sel inang dengan bantuan enzim ligase.

- d. Langkah setelah terbentuk DNA rekombinan sampai pemanenan produk rekayasa genetika, yaitu membuat klon organisme yang mengandung DNA rekombinan.

Aktivitas 4.14

- a. Jenis kelamin antara domba donor dan domba resipien sama, karena yang didonorkan berupa inti diploid yang tidak perlu dibedakan jenis kelaminnya.
- b. Sel kelenjar susu domba donor diambil intinya untuk dipindahkan ke sel telur, sedangkan pada sel telur domba resepien dihilangkan inti selnya.
- c. Energi yang digunakan untuk menyatukan nukleus dari sel donor dengan sel telur resipien yang sudah dihilangkan intinya berupa sengatan listrik.
- d. Sel yang sudah disatukan mampu membelah dan membentuk embrio yang ditanam pada rahim domba resipien karena setelah diberikan energi listrik, inti sel yang bersifat diploid menjadi bersifat embrional atau *pluripotent* sehingga mampu membelah membentuk embrio.
- e. Domba hasil kloning yang tumbuh dalam rahim domba resipien sifatnya sama dengan domba donor, bukan sama dengan domba resipien karena penentu sifat keturunan dibawa oleh kromosom yang terdapat pada inti dari domba donor sehingga sifat hasil kloning sama dengan domba donor, sedangkan inti sel domba resipien yang bersifat haploid sudah dikeluarkan dari sel telur resipien sehingga tidak menentukan sifat keturunan lagi.

Aktivitas 4.15

- a. Bagian sel yang diambil dari sel donor berupa inti sel dan bagian sel telur resipien yang diambil seluruh bagian intinya.
- b. Susunan atau komposisi kromosom pada inti sel donor, yaitu diploid karena diambil dari inti sel diploid yang sudah dewasa.
- c. Inti sel donor yang dimasukkan pada sel telur resipien setelah distimulasi aliran listrik mampu membelah menjadi embrio karena inti sel yang bersifat diploid menjadi bersifat embrional atau *pluripotent* sehingga mampu membelah membentuk embrio.
- d. Embrio yang berkembang di dalam rahim donor mempunyai sifat sama dengan si pendonor karena penentu sifat keturunan dibawa oleh kromosom yang terdapat pada inti sel donor sehingga sifat hasil kloning sifatnya sama dengan sel donor.

- e. Antara donor dan resipien jenis kelaminnya sama, yaitu perempuan karena yang didonorkan berupa inti diploid yang tidak perlu dibedakan jenis kelamin.
- f. Kemungkinan masalah jika ternyata antara dua perempuan dengan teknologi kloning dapat menghasilkan keturunan baru, yaitu akan muncul homogenitas jenis kelamin perempuan.
- g. Pendapat mengenai kloning manusia melanggar bioetika, sangat setuju karena melanggar prinsip-prinsip dasar bioetika, yaitu menghormati orang, kebaikan dan keadilan serta tidak merugikan, martabat manusia, dan kesucian hidup.

Pertemuan Kedelapan

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Modern pada Rekayasa Genetika (Vaksin, *Stem Cell* dan Penyuntingan Genom)

Alokasi Waktu : 1 kali pertemuan /2 Jam Pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Pesta didik dapat mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern melalui rekayasa genetika (vaksin, *stem cell*, dan penyuntingan genom) setelah melakukan pengamatan infografis dan diskusi kelompok.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari teknologi yang diterapkan pada bioteknologi modern.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik melihat gambar orang disuntik vaksin Covid-19.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Mengapa orang perlu divaksin?
 - b. Teknologi apakah yang digunakan untuk menghasilkan vaksin?
 - c. Coba diingat, bahan dan agen biologi apakah yang digunakan untuk membuat vaksin?

3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi pada rekayasa dapat menghasilkan vaksin. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak ada rekayasa genetika untuk menghasilkan vaksin. Tekankan bahwa rekayasa genetika dapat menghasilkan vaksin baru untuk meningkatkan imunitas tubuh sehingga lebih meningkatkan kesehatan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mempelajari infografis pasien Covid-19.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah mengamati infografis, hal mengesankan apakah yang kalian lihat?
 - b. Coba diingat, mengapa pasien ini dapat menderita Covid-19?
 - c. Apakah pasien sudah mendapatkan vaksin Covid-19?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa inovasi pada rekayasa dapat menghasilkan vaksin. Kemudian, ajak mereka membayangkan bagaimana jika tidak rekayasa genetika untuk menghasilkan vaksin. Tekankan bahwa rekayasa genetika dapat menghasilkan vaksin jenis baru sebagai bahan makanan sehingga lebih menguntungkan kehidupan manusia.

Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik mencermati video pada link berikut.
<https://www.youtube.com/watch?v=628XpPiTdN4>
Kemudian, arahkan mereka untuk menjawab pertanyaan pada Aktivitas 4.16.
2. Minta peserta didik menuliskan hasil jawaban dalam bentuk PowerPoint.
3. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Tekankan dasar dan syarat paling penting yang harus diperhatikan untuk dapat melakukan rekayasa genetika untuk memproduksi vaksin.
5. Minta peserta didik untuk membaca materi tentang vaksin.
6. Tekankan pada peserta didik tahapan pembentukan vaksin dan imunitas.
7. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena temuan vaksin sebagai alternatif memperbaiki kualitas kesehatan banyak.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang tingkat daya tahan tubuh setelah mendapatkan vaksin I dan II dibandingkan teman-teman mereka yang belum divaksinasi.
2. Tekankan bahwa penerapan teknologi vaksinasi dapat meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik mengerjakan Aktivitas 4.17 sebagai penugasan lanjut tentang rekayasa genetika pada *stem cell*.
2. Berikan penugasan kepada peserta didik untuk membaca materi tentang penyuntingan gen.
3. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan penugasan Aktivitas 4.17 dan membaca materi tentang penyuntingan gen sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.16

- a. Vaksin Covid-19 yang dibuat di Indonesia, yaitu vaksin nusantara dan vaksin merah putih.
- b. Basis yang digunakan dalam mengembangkan vaksin nusantara, yaitu metode sel dendritik.
- c. Basis yang digunakan dalam mengembangkan vaksin merah putih, yaitu vaksin dibuat dari virus yang dilemahkan dan hidup. Kemudian, memasukkan virus yang tidak aktif atau lemah sehingga tidak menyebabkan penyakit.
- d. Berikut tahap pembuatan dua vaksin di Indonesia.
 - 1) Pembuatan vaksin nusantara pada tahap awal, mengambil sampel sel darah putih akan dibiakkan selama lima hari. Setelah lima hari, sel darah putih tersebut akan dikenalkan dengan protein S pada

SARS-CoV-2 selama dua hari. Pada kondisi ini, sel darah putih akan mempunyai memori terhadap virus Covid-19. Selanjutnya, sel darah putih ini disuntikkan kembali sehingga sistem kekebalan tubuh akan lebih siap menghadapi Covid-19 karena sudah mengenali dan membentuk imunitas seluler.

- 2) Pembuatan vaksin merah putih sampai bulan Juni 2022 telah melewati tahapan formulasi, pengembangan, dan uji praklinik. Adapun untuk uji praklinik sudah melewati uji klinik fase 1 dan 2, dan pada bulan Juni 2022 telah masuk pada tahap uji klinik fase 3.

Aktivitas 4.17

- a. Ada 2 macam, yaitu sel punca embrional dan sel punca dewasa.
- b. Ada 6 macam, yaitu sel usus, sel hati, sel otot, sel jantung, sel saraf, dan sel darah.

Pertemuan Kesembilan

Subbab : Aplikasi Bioteknologi Modern Harapan dan Kenyataan
Alokasi Waktu: 1 kali pertemuan /2 Jam Pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik dapat mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern dalam kehidupan manusia melalui analisis SWOT

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari macam-macam produk bioteknologi modern pada berbagai bidang kehidupan.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali produk-produk temuan bioteknologi modern.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian dapat menyebutkan satu contoh produk bioteknologi modern?

- b. Apakah manfaat contoh produk bioteknologi modern bagi manusia?
 - c. Coba diingat, apakah manfaat produk bioteknologi yang kalian sebutkan sudah sesuai dengan yang diharapkan manusia?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa produk-produk bioteknologi memang terbukti bermanfaat bagi kehidupan manusia. Kemudian, ajak mereka melihat kenyataan bahwa produk bioteknologi belum dapat dinikmati sebagian besar masyarakat. Tekankan bahwa pemanfaatan produk bioteknologi perlu dilakukan evaluasi untuk meningkatkan kesejahteraan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mempelajari infografis produk-produk bioteknologi modern.
2. Tanyakan hal kepada peserta didik.
 - a. Setelah melihat infografis, hal apa yang membuat kalian terkesan?
 - b. Coba diingat, apakah manfaat dan kerugian produk biologi tersebut?
 - c. Apakah manfaat produk bioteknologi yang mengesankan bagi kalian tersebut sudah merata pada sebagian besar masyarakat?
3. Ajak peserta didik berpikir bahwa produk-produk bioteknologi memang terbukti bermanfaat bagi kehidupan manusia. Kemudian, ajak mereka melihat kenyataan bahwa produk bioteknologi belum dapat dinikmati sebagian besar masyarakat. Tekankan bahwa pemanfaatan produk bioteknologi perlu dilakukan evaluasi untuk meningkatkan kesejahteraan manusia

Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik membaca materi tentang Harapan dan Kenyataan Bioteknologi Modern.
2. Minta peserta didik melakukan Aktivitas 4.18 dan menuliskan hasil analisis SWOT pada tabel dalam bentuk PowerPoint.
3. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
4. Tekankan bahwa bioteknologi mempunyai peluang, tantangan, dan ancaman jika diaplikasikan dalam kehidupan manusia.
5. Tekankan pada peserta didik bagaimana memperbesar peluang pemanfaatan produk bioteknologi agar semakin luas.

6. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena peluang pemanfaatan produk bioteknologi yang semakin meluas.

Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik tentang produk bioteknologi apa sajakah yang pernah digunakan dalam keluarganya.
2. Tekankan bahwa penerapan bioteknologi modern dapat meningkatkan peluang dan baru kualitas kehidupan masyarakat.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik membaca risiko atau bahaya pemanfaatan produk bioteknologi.
2. Ajak peserta didik membaca cara-cara mengurangi hambatan pemanfaatan produk bioteknologi modern
3. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan penugasan membaca sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.18

ANALISIS PEMANFAATAN PRODUK BIOTEKNOLOGI MODERN	OPPORTUNITY (Peluang) 1. Dihasilkan jenis bahan makanan baru yang kandungan gizinya lebih baik. 2. Dihasilkan teknologi pengobatan baru yang tidak dapat disembuhkan dengan obat-obatan. 3. Belum banyak industri yang memproduksinya.	THREAT (Ancaman) 1. Terjadinya erosi plasma nutfah atau hilangnya keanekaragaman hayati. 2. Terjadinya pencemaran gen. 3. Terjadi praktek monopoli pemasaran produk bioteknologi. 4. Berkurangnya penghormatan pada harkat, martabat dan kesucian manusia.
--	--	---

STRENGTH (Kekuatan) 1. Didukung oleh pengetahuan dan teknologi yang canggih. 2. Dapat diaplikasi pada seluruh bidang kehidupan. 3. Dapat menyesuaikan tuntutan perubahan zaman.	Menciptakan produk bioteknologi modern yang berbasis teknologi informatika yang akurasinya untuk memecahkan permasalahan baru.	Menciptakan produk bioteknologi modern yang ramah lingkungan dengan tidak melanggar bioetika walaupun mengikuti perubahan zaman.
WEAKNESS (Kelemahan) 1. Biaya mahal. 2. Butuh sumber daya manusia yang mumpuni. 3. Beberapa produk dapat menyebabkan alergi dan keracunan. 4. Jumlah produknya masih sedikit.	. Menciptakan produk bioteknologi modern yang berbasis teknologi informatika yang akurasinya untuk memecahkan permasalahan baru secara massal, murah dan aman.	Menciptakan produk bioteknologi modern yang murah, aman dan ramah lingkungan dengan tidak melanggar bioetika.

Pertemuan Kesepuluh

Subbab : Bioetika

Alokasi Waktu: 1 kali pertemuan /2 Jam Pelajaran

Tujuan Pembelajaran

Peserta didik mampu mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi berdasarkan bioetika yang berlaku melalui studi kasus.

Pengetahuan Prasyarat

Peserta didik telah mempelajari macam-macam produk bioteknologi modern pada berbagai bidang kehidupan.

Tahapan Pembelajaran

Apersepsi

Alternatif 1 >>>>

1. Ajak peserta didik mengingat kembali produk-produk temuan bioteknologi modern yang kontroversi.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Apakah kalian dapat menyebutkan satu contoh produk bioteknologi modern yang kontroversi di masyarakat?
 - b. Mengapa produk tersebut menjadi kontroversi?
 - c. Coba diingat, apakah manfaat dan kerugiannya dari produk bioteknologi modern yang kontroversi?
3. Bagi peserta didik dalam dua kelompok, yaitu kelompok pro dan kontra pada produk bioteknologi yang menjadi kontroversi di masyarakat. Ajak kedua kelompok mengemukakan mengapa mereka pro atau kontra berdasarkan argumentasi-argumentasi yang telah mereka ketahui dari pengetahuan yang telah mereka peroleh atau pengetahuan hasil *searching*. Tekankan bahwa pemanfaatan produk bioteknologi perlu ada prosedur etiknya agar meningkatkan kesejahteraan manusia.

Alternatif 2 >>>>

1. Ajak peserta didik mengamati infografis produk-produk bioteknologi modern kontroversi.
2. Tanyakan hal berikut kepada peserta didik.
 - a. Setelah mengamati infografis, hal mengesankan apa yang kalian lihat?
 - b. Coba diingat, apakah manfaat dan kerugian produk biologi tersebut?
 - c. Apakah manfaat dan kerugian produk bioteknologi tersebut sudah dikenali pada sebagian besar masyarakat?
3. Bagi peserta didik dalam dua kelompok, yaitu kelompok pro dan kontra pada produk bioteknologi yang menjadi kontroversi di masyarakat. Ajak kedua kelompok mengemukakan mengapa mereka pro atau kontra berdasarkan argumentasi-argumentasi yang telah mereka ketahui dari pengetahuan yang telah mereka peroleh atau pengetahuan hasil *searching*. Tekankan bahwa pemanfaatan produk bioteknologi perlu ada prosedur etiknya agar meningkatkan kesejahteraan manusia.

— Konstruksi Pengetahuan

1. Minta peserta didik membaca dan berdiskusi subbab Bioetika.
2. Perhatikan cara peserta didik dalam membaca dan berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.
3. Tekankan bahwa bioetika mempunyai manfaat untuk menyelamatkan manusia ancaman perkembangan bioteknologi.
4. Tekankan pada peserta didik bagaimana memperluas peluang penerapan kode etik dalam bioteknologi.
5. Tekankan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena bioetik dalam bioteknologi yang semakin meluas.

— Aplikasi Konsep

1. Tanyakan kepada peserta didik macam bioetika apa saja yang dibutuhkan dalam masyarakat.
2. Tekankan bahwa penerapan bioetika dapat meningkatkan kehormatan dan kesucian manusia dalam masyarakat.

Refleksi Pembelajaran

Ajak peserta didik merefleksi hal-hal yang telah dipahami dan belum dipahami pada pertemuan ini.

Tindak Lanjut Pembelajaran

1. Ajak peserta didik untuk melakukan Aktivitas 4.19.
2. Minta peserta didik untuk menjawab pertanyaan pada aktivitas tersebut.
3. Perhatikan bagaimana proses peserta didik mengerjakan penugasan Aktivitas 4.19 sehingga dimensi kreatif, mandiri, dan berpikir kritis dapat terbentuk.

Kunci Jawaban

Aktivitas 4.19

- a. Tindakan Jiankui yang melakukan pengeditan gen sehingga susunan gen tidak sesuai aslinya pada embrio manusia dapat dikatakan melanggar bioetika dan tidak bertanggung jawab karena dianggap melanggar dan merendahkan kesucian dan martabat ciptaan Tuhan yang sempurna.

- b. Karena tidak memenuhi syarat etika. Penelitian dengan subjek manusia harus memegang 3 prinsip dasar, yaitu:
- c. Prinsip menghormati harkat martabat manusia sebagai pribadi yang memiliki kebebasan berkehendak atau memilih dan sekaligus bertanggung jawab secara pribadi terhadap keputusannya sendiri.
 - 1. Prinsip berbuat baik dan tidak merugikan dilakukan dengan mengupayakan manfaat maksimal dengan kerugian minimal yang mempersyaratkan: a) Risiko penelitian harus wajar dibanding manfaat yang diharapkan. b) Desain penelitian harus memenuhi persyaratan ilmiah. c) Para peneliti mampu melaksanakan penelitian dan sekaligus mampu menjaga kesejahteraan subjek penelitian.
 - 2. 3) Prinsip *do no harm* (tidak merugikan), yaitu menentang tindakan dengan sengaja merugikan subjek penelitian.
 - 3. 4) Prinsip keadilan yang mengacu pada kewajiban memperlakukan setiap orang dengan moral yang benar dan layak untuk memperoleh haknya terkait keadilan yang merata, seimbang dalam hal beban dan manfaat yang diperoleh subjek dari penelitian.

Kunci Jawaban Uji Kompetensi

- 1. a. B
b. B
c. B
d. B
e. B
f. B
- 2. a. Protein - protease - asam amino
b. Lemak - lipase - asam lemak dan gliserol
c. Amilum - amilase - maltosa
d. Asam fittat - ftase - inositol, K dan P
- 3. a. B
b. B
c. B
d. S
e. B
f. B

4.
 - a. 1 - a - A - 1
 - b. 2 - f - B - 5
 - c. 3 - c - B - 2
 - d. 4 - a - A - 1
 - e. 5 - f - B - 3
 - f. 6 - c - B - 2
 - g. 7 - c - B - 2
 - h. 8 - c - B - 2
 - i. 9 - c - B - 2
 - j. 10 - a - A - 8
5.
 1. Eksplan/pemotongan eksplan
 2. Sterilisasi eksplan
 3. Inisiasi
 4. Elongasi tunas
 5. Aklimatisasi
 - 6 E
7.
 1. Isolasi dan pemotongan DNA
 2. Memasukkan Potongan DNA ke plasmid
 3. Penyisipan gen pada plasmid
- 8 A
- 9
 - a. B
 - b. B
 - c. B
 - d. B
10.
 - a. B
 - b. S
 - c. B
 - d. B
 - e. B
11.
 - a. B
 - b. B
 - c. S
 - d. B
 - e. B

— Jenis Penilaian yang Dianjurkan pada Guru

Jenis	Bentuk	Teknik
Pengetahuan	Tes	Mengingat kembali Pengamatan (Aktivitas 4.1) Mengembangkan rasa ingin tahu (Aktivitas 4.2) Berpetualang secara virtual (Aktivitas 4.3) Membandingkan untuk mengembangkan cara berpikir kritis (Aktivitas 4.4) Berliterasi (Aktivitas 4.5) Mengamati dan menganalisis (Aktivitas 4.10) Berliterasi untuk menumbuhkan rasa ingin tahu (Aktivitas 4.11) Mengurutkan (Aktivitas 4.13) Mengamati dan berpikir kritis (Aktivitas 4.14) Mengamati dan berpikir kritis (Aktivitas 4.15) Mengamati melalui literasi digital (Aktivitas 4.16) Pengamatan (Aktivitas 4.17) Menganalisis sebagai dasar pembuatan argumentasi penerapan bioteknologi modern (Aktivitas 4.18) Mengevaluasi penerapan bioteknologi modern berdasarkan penerapan bioetika (Aktivitas 4.19)
	Nontes	Mencoba untuk Mengembangkan Daya Kreativitas (Aktivitas 4.6) Mencoba untuk Mengembangkan Daya Kreativitas (Aktivitas 4.7) Berliterasi finansial (Aktivitas 4.12)
Keterampilan	Nontes	Proyek Berinovasi (Aktivitas 4.8) Berpikir inovatif (Aktivitas 4.9)
Sikap	Nontes	Observasi

Catatan:

Penilaian dalam tabel hanya salah satu alternatif. Guru dapat memodifikasi penilaian disesuaikan dengan kondisi masing-masing sekolah. Guru melakukan remedial bagi peserta didik yang tidak mencapai KKM. Remedial dapat dilakukan dengan pemberian tugas atau pembelajaran ulang yang diakhiri dengan tes. Tes remedial yang disusun disesuaikan dengan tujuan pembelajaran yang belum tuntas pada masing-masing peserta didik.

No.	Aspek		Skor	Bobot
1.	Perencanaan	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Pemilihan lokasi observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Pemilihan perlengkapan dan cara memperoleh data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Rancangan jadwal proses pelaksanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Pemilihan media presentasi.			
2.	Proses pelaksanaan proyek	4 poin terpenuhi	4	4
	a. Persiapan perlengkapan observasi.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Persiapan pertanyaan teknik pengambilan data.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kesesuaian data yang dicari dengan perencanaan proyek.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kerjasama kelompok.			
3.	Hasil produk presentasi	4 poin terpenuhi	4	3
	a. Media yang digunakan menarik.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Menampilkan gambar dan grafik.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Kebenaran isi media presentasi.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kemudahan dalam memahami media presentasi.			
4	Presentasi	4 poin terpenuhi	4	2
	a. Penggunaan bahasa yang baik dan benar.	3 poin terpenuhi	3	
	b. Penyampaiannya mudah dipahami.	2 poin terpenuhi	2	
	c. Penggunaan media yang menarik.	1 poin terpenuhi	1	
	d. Kekompakan tim.			

/// Interaksi Guru dengan Orang Tua atau Wali ///

Guru dapat memberikan informasi kepada orang tua terkait penugasan proyek yang diberikan kepada anaknya. Ketika peserta didik akan mengambil data ke laboratorium terdekat agar diberi pemantauan untuk tetap melakukan protokol kesehatan. Khususnya tugas untuk mencari informasi di internet, diharapkan orang tua juga ikut mengawasi. Selain itu, guru dapat menginformasikan hasil refleksi dan pencapaian peserta didik pada materi ini sebagai salah satu bentuk umpan balik di akhir bab.

Refleksi untuk Guru

Guru perlu melakukan refleksi terhadap proses pembelajaran yang telah dilakukan pada bab ini untuk menemukan hal-hal yang menjadi kendala untuk diperbaiki pada pembelajaran selanjutnya. Guru juga perlu melakukan refleksi terhadap konsep-konsep yang sulit dipahami peserta didik dan cenderung menjadi miskonsepsi untuk dicatat dan ditekankan pada pembelajaran selanjutnya.

Harapan Kurikulum

Guru diharapkan lebih menekankan keterampilan proses dan pembentukan dimensi Profil Pelajar Pancasila selama proses pembelajaran, khususnya dimensi bergotong royong, kreatif, dan bernalar kritis. Proyek merupakan salah satu media dalam pengembangan keterampilan proses dan sikap ilmiah seperti objektif, jujur, kritis, dan terbuka sehingga perlu mendapat perhatian khusus. Pada akhir pembelajaran ini, guru diharapkan mampu menanamkan pentingnya protokol kesehatan, vaksinasi, dan hidup sehat.

Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) dan Tujuan Pembelajaran (TP)

-----● A. Konsep Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)

Capaian pembelajaran (CP) merupakan kompetensi yang diharapkan dapat dicapai peserta didik di akhir fase. CP terdiri atas 6 fase (A-F) atau tahapan yang meliputi seluruh jenjang pendidikan dasar dan menengah (SD, SMP, dan SMA). Untuk jenjang SMA, terdapat dua fase, yaitu fase E (kelas 10) dan fase F (Kelas 11 dan 12).

Alur pembelajaran merupakan rangkaian tujuan pembelajaran yang tersusun secara utuh dan menurut urutan pembelajaran sejak awal hingga akhir suatu fase. Alur ini disusun secara linear sebagaimana kegiatan pembelajaran yang dilakukan dari hari ke hari untuk mengukur ketercapaian pembelajaran. Alur pembelajaran disusun untuk menjadi rangkaian tujuan pembelajaran sejak awal hingga akhir setiap fase dari suatu capaian pembelajaran. Alur ini berfungsi sebagai panduan guru dan peserta didik untuk mencapai CP di akhir fase tersebut. Tujuan pembelajaran tersebut disusun secara kronologis berdasarkan urutan pembelajaran dari waktu ke waktu. Hal yang perlu ditekankan bagi guru, yaitu guru berhak menyusun alur pembelajaran masing-masing, yang terdiri atas rangkaian tujuan pembelajaran, sehingga set-set alur pembelajaran yang tersedia hanya sebagai contoh pengembangan kurikulum yang siap digunakan satuan pendidikan dan panduan untuk penyusunan perangkat ajar.

-----● B. Konsep Tujuan Pembelajaran (TP)

Tujuan Pembelajaran (TP) merupakan deskripsi pencapaian tiga aspek kompetensi, yaitu pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang diperoleh peserta didik dalam satu atau lebih kegiatan pembelajaran dari waktu ke waktu yang menjadi prasyarat menuju CP. ATP dan TP berfungsi mengarahkan guru dalam merencanakan, mengimplementasi, dan mengevaluasi pembelajaran secara keseluruhan sehingga capaian pembelajaran diperoleh secara, sistematis, konsisten, terarah, dan terukur. Rumusan tujuan pembelajaran mengandung empat hal, yaitu:

1. Tahapan kognitif (mengingat, memahami, mengaplikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta).
2. Dimensi pengetahuan (faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif).
3. Perilaku capaian (kritis, kreatif, komunikatif, dan kolaboratif).
4. Profil Pelajar Pancasila (beriman, kebhinekaan global, bergotong-royong, kreatif, bernalar kritis, dan mandiri).



Secara operasional Tujuan Pembelajaran memuat tiga aspek, yaitu:

1. Kompetensi

Kemampuan yang dapat didemonstrasikan atau diaktualisasikan dalam bentuk produk atau kinerja yang menunjukkan peserta didik telah berhasil mencapai tujuan pembelajaran. Pada tujuan pembelajaran, aspek kompetensi ditunjukkan dengan adanya kata kerja operasional yang mengacu pada Taksonomi Anderson (Taksonomi Bloom yang direvisi). Penggunaan kata kerja operasional pada rumusan tujuan pembelajaran membantu guru dalam mengidentifikasi indikator atau aktivitas pembelajaran yang berkaitan dengan pemilihan materi ajar dan jenis evaluasi pembelajaran.

2. Konten

Konsep utama yang perlu diperoleh peserta didik melalui pemahaman selama proses pembelajaran di akhir satu unit pembelajaran.

3. Variasi

Sebuah keterampilan berpikir apa saja yang perlu dikuasai peserta didik untuk dapat mencapai tujuan pembelajaran. Penggunaan keterampilan berpikir kreatif, kritis, dan tingkat tinggi, seperti mengevaluasi, memprediksi, menciptakan, dan lain sebagainya.

Berikut contoh tujuan pembelajaran.

a. “Merancang¹⁾ solusi²⁾ untuk menyelesaikan permasalahan¹⁾ dalam bidang konservasi energi dalam skala rumah tangga³⁾”.

b. Keterangan:

- ¹⁾ Kompetensi (kata kerja yang menunjukkan keterampilan/aksi).
- ²⁾ Variasi (penggunaan keterampilan berpikir kreatif, kritis, dan tingkat tinggi).
- ³⁾ Konten (materi yang dipelajari).

-----● C. Prinsip Penyusunan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)

Terdapat tujuh prinsip dalam penyusunan ATP, yaitu:

1. Sederhana dan informatif

Penyusunan dan perumusan ATP dapat dipahami oleh penulis dan pembacanya.

2. Esensial dan kontekstual

Penyusunan ATP memuat tiga aspek dasar pembelajaran dan mempertimbangkan penyediaan pengalaman belajar yang relevan dalam kehidupan.

3. Berkesinambungan

Dalam penyusunan ATP terdapat keterkaitan antarfase dan antartujuan pembelajaran, disusun secara kronologis berurutan pembelajaran dari waktu ke waktu.

4. Pengoptimalan tiga aspek kompetensi.

5. Merdeka belajar.

Prinsip utama penyusunan ATP, yaitu pemahaman merdeka belajar, antara lain:

- a. Memerdekakan peserta didik dalam berpikir dan bertindak pada ranah akademis dan bertanggung jawab secara moral.
- b. Memfasilitasi dan menginspirasi kreativitas peserta didik dengan mempertimbangkan keunikan individualnya (kecepatan belajar, gaya, dan minat).
- c. Mengoptimalkan peran dan kompetensi guru dalam merumuskan perencanaan dan pelaksanaan pembelajaran.

6. Operasional dan aplikatif

Rumusan ATP menggambarkan dan mendeskripsikan proses pembelajaran dan penilaian secara utuh yang aplikatif untuk merancang perangkat pembelajaran dan modul ajar.

7. Adaptif dan fleksibel

Rumusan ATP sesuai dengan karakteristik mata pelajaran, peserta didik, dan satuan pendidikan, serta mempertimbangkan alokasi waktu dan relevansi antarmata pelajaran dan ruang lingkup pembelajaran.

-----● D. Prosedur Penyusunan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)

Terdapat tujuh langkah yang perlu diikuti dalam menyusun ATP, yaitu:

1. Melakukan analisis Capaian Pembelajaran yang memuat materi dan kompetensi pengetahuan, keterampilan, dan sikap.

2. Mengidentifikasi kompetensi-kompetensi di akhir fase dan kompetensi-kompetensi sebelumnya yang perlu dikuasai peserta didik sebelum mencapai kompetensi di akhir fase.
3. Melakukan analisis setiap elemen dan/atau subelemen Profil Pelajar Pancasila yang sesuai dengan mata pelajaran dan Capaian Pembelajaran pada fase tersebut.
4. Menyusun tujuan pembelajaran berdasarkan hasil identifikasi kompetensi inti pada akhir fase dengan mempertimbangkan:
 - a. kompetensi yang akan dicapai,
 - b. pemahaman bermakna yang akan dipahami, dan
 - c. variasi keterampilan berpikir yang perlu dikuasai.
5. Menyusun tujuan pembelajaran yang disusun secara kronologis/berurutan dari hari ke hari.
6. Menentukan lingkup materi dan materi utama setiap tujuan pembelajaran.
7. Menentukan alokasi waktu yang diperlukan berdasarkan perumusan Tujuan Pembelajaran.

CONTOH ALUR DAN TUJUAN PEMBELAJARAN

Alur dan Tujuan Pembelajaran Biologi Kelas XII

A. Capaian Pembelajaran Fase F

Pada akhir fase F, peserta didik memiliki kemampuan untuk responsif terhadap isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah. Kemampuan tersebut antara lain mengamati, mempertanyakan dan memprediksi, merencanakan dan melakukan penelitian, memproses dan menganalisis data serta informasi, mengevaluasi dan merefleksi, serta mengomunikasikan dalam bentuk proyek sederhana atau simulasi visual menggunakan aplikasi teknologi yang tersedia terkait metabolisme, pewarisan sifat, evolusi, dan bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari. Semua upaya tersebut diarahkan pada pencapaian tujuan pembangunan yang berkelanjutan (SDGs). Melalui pengembangan sejumlah pengetahuan tersebut, dibangun pula akhlak mulia dan sikap ilmiah, seperti jujur, objektif, bernalar kritis, kreatif, mandiri, inovatif, bergotong royong, dan berkebhinekaan global.

B. Elemen Pemahaman Sains

Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan mendeskripsikan struktur sel serta bioproses yang terjadi, seperti transpor membran dan pembelahan sel; menganalisis keterkaitan struktur organ pada sistem organ dengan fungsinya serta kelainan atau gangguan yang muncul pada sistem organ tersebut; memahami fungsi enzim dan mengenal proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh; serta memiliki kemampuan menerapkan konsep pewarisan sifat, pertumbuhan dan perkembangan, mengevaluasi gagasan baru mengenai evolusi, dan inovasi teknologi biologi.

C. Elemen Keterampilan Proses

1. Mengamati

Mampu memilih alat bantu yang tepat untuk melakukan pengukuran dan pengamatan.

Memerhatikan detail yang relevan dari obyek yang diamati.

2. Mempertanyakan dan memprediksi

Merumuskan pertanyaan ilmiah dan hipotesis yang dapat diselidiki secara ilmiah.

3. Merencanakan dan melakukan penyelidikan

Merencanakan dan memilih metode yang sesuai berdasarkan referensi untuk mengumpulkan data yang dapat dipercaya, mempertimbangkan risiko serta isu-isu etik dalam penggunaan metode tersebut.

Memilih dan menggunakan alat dan bahan, termasuk penggunaan teknologi digital yang sesuai untuk mengumpulkan serta mencatat data secara sistematis dan akurat.

4. Memproses, menganalisis data dan informasi

Menafsirkan informasi yang didapatkan dengan jujur dan bertanggung jawab. Menggunakan berbagai metode untuk menganalisis pola dan kecenderungan pada data.

Mendeskripsikan hubungan antarvariabel serta mengidentifikasi inkonsistensi yang terjadi.

Menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menarik kesimpulan yang konsisten dengan hasil penyelidikan.



5. Mengevaluasi dan refleksi

Mengevaluasi kesimpulan melalui perbandingan dengan teori yang ada.

Menunjukkan kelebihan dan kekurangan proses penyelidikan dan efeknya pada data.

Menunjukkan permasalahan pada metodologi dan mengusulkan saran perbaikan untuk proses penyelidikan selanjutnya.

6. Mengomunikasikan hasil

Mengomunikasikan hasil penyelidikan secara utuh termasuk di dalamnya pertimbangan keamanan, lingkungan, dan etika yang ditunjang dengan argumen, bahasa serta konvensi sains yang sesuai konteks penyelidikan. Menunjukkan pola berpikir sistematis sesuai format yang ditentukan.

7. Alur Pembelajaran

Metabolisme

1.1 Mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim dengan tepat melalui infografik.

1.2 Menjelaskan mekanisme kerja enzim dengan tepat melalui studi literatur.

1.3 Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim melalui eksperimen.

1.4 Menganalisis perbedaan anabolisme dan katabolisme melalui studi literatur.

1.5 Menganalisis tahap-tahap respirasi aerob melalui mengamati tahap respirasi melalui pengamatan infografik.

1.6 Menjelaskan proses fermentasi alkohol dan asam laktat melalui pengamatan infografik.

1.7 Menganalisis tahap-tahap reaksi terang dan gelap pada fotosintesis melalui pengamatan infografik.

1.8 Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan fotorespirasi pada tumbuhan melalui eksperimen.

Subtansi Genetika dan Pewarisan Sifat

2.1 Menjelaskan komposisi dan struktur DNA, gen, dan kromosom.

- 2.2 Mengorelasikan antara DNA, gen, dan kromosom dalam pewarisan sifat.
- 2.3 Menjelaskan tahap-tahap sintesis protein.
- 2.4 Membandingkan tahap-tahap mitosis dan meiosis.
- 2.5 Menganalisis peran mitosis dan meiosis.
- 2.6 Menganalisis pentingnya produksi sel-sel yang identik secara genetik.
- 2.7 Menganalisis pola-pola pewarisan sifat dalam makhluk hidup.
- 2.8 Menerapkan konsep penyimpangan semu hukum Mendel dalam beberapa kasus soal.
- 2.9 Menghitung hasil persilangan sampai mendapatkan fenotip dan genotipnya.
- 2.10 Menjelaskan peristiwa mutasi dan menganalisis sebab-sebab terjadinya mutasi.

Evolusi

- 3.1 Menjelaskan berbagai teori terkait asal-usul makhluk hidup.
- 3.2 Menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi dan disertai bukti-bukti adanya evolusi.
- 3.3 Menghubungkan prinsip adaptasi dan seleksi alam dengan mekanisme evolusi.
- 3.4 Menganalisis prinsip genetic drift dan gene flow dengan mekanisme evolusi.
- 3.5 Membuktikan perubahan frekuensi gen melalui hukum Hardy Weinberg.

Inovasi Bioteknologi

- 4.1 Menafsirkan definisi bioteknologi.
- 4.2 Mengidentifikasi peranan bioteknologi dalam kehidupan manusia.
- 4.3 Memberikan contoh peranan bioteknologi dalam pemecahan masalah.
- 4.4 Menganalisis perbedaan bioteknologi konvensional dan modern.



- 4.5 Menganalisis cabang-cabang ilmu yang terlibat dalam bioteknologi.
- 4.6 Memberikan saran inovasi pembuatan tempe dengan bahan nonkedelai dan pemanfaatan bioteknologi pada bidang lain.
- 4.7 Memberikan saran pembuatan tempe berprotein sempurna dan pemanfaatan bioteknologi pada bidang lain.
- 4.8 Memberikan saran pemanfaatan bioteknologi konvensional dan modern.
- 4.9 Memberikan argumentasi terhadap pemanfaatan bioteknologi modern dalam kehidupan manusia.
- 4.10 Mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi modern dalam hal rekayasa genetika dan kultur jaringan.
- 4.11 Memberikan argumentasi pemanfaatan bioteknologi modern.
- 4.12 Mengevaluasi pemanfaatan bioteknologi berdasarkan bioetika.

Profil Pelajar Pancasila

- Berintegritas dan menjaga keselamatan diri dalam keselamatan kerja;
- Memahami keterhubungan ekosistem bumi dan menjaga lingkungan (akhlak mulia wujud beriman dan bertakwa);
- Menetapkan tujuan dan rencana, serta mengembangkan kendali dan disiplin diri (wujud kemandirian);
- Menunjukkan kolaborasi dan komunikasi untuk tujuan bersama (wujud bergotong royong);
- Memperoleh dan mengolah informasi serta menganalisis, mengevaluasi, merefleksi, dan mengevaluasi pikirannya sendiri (wujud bernalar kritis) serta permasalahan (wujud kreativitas).

CONTOH MODUL AJAR

Modul Ajar

Nama Penyusun :
Satuan Pendidikan : SMA
Tahun Penyusunan : 2023
Kelas : XII
Alokasi Waktu :

A. Kompetensi Awal

Pada Fase E, peserta didik telah mempelajari gejala alam dalam cakupan keterampilan proses dalam pengukuran, perubahan iklim, pemanasan global, energi alternatif dan pemanfaatannya. Di dalamnya terdapat pengetahuan tentang bioproses sistem metabolisme sel, yaitu:

1. Organel untuk respirasi
2. Respirasi aerob
3. Respirasi anaerob (fermentasi)

B. Profil Pelajar Pancasila

1. Beriman dan bertakwa kepada Tuhan YME
2. Berakhlak mulia
3. Mandiri
4. Bergotong royong
5. Bernalar kritis
6. Kreatif

C. Target Peserta Didik

Modul ajar ini dirancang untuk mengajar peserta didik reguler/tipikal (umum, tidak ada kesulitan dalam mencerna dan memahami materi ajar)

D. Model Pembelajaran

Modul ajar ini menggunakan model pembelajaran tatap muka

E. Gambaran Umum Unit

Kelas : 12
Alokasi Waktu : 6 x 3 JP
Jumlah Pertemuan : 6 pertemuan
Jumlah Peserta Didik : 20 – 25 orang
Fase Capaian – Domain : F - Metabolisme

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari Bab 1 tentang Metabolisme dalam kegiatan kerja ilmiah, peserta didik diharapkan dapat:

- 1.1 Mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim dengan tepat melalui infografik.
- 1.2 Menjelaskan mekanisme kerja enzim dengan tepat melalui studi literatur.
- 1.3 Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim melalui eksperimen.
- 1.4 Menganalisis perbedaan anabolisme dan katabolisme melalui studi literatur.
- 1.5 Menganalisis tahap-tahap respirasi aerob melalui mengamati tahap respirasi melalui pengamatan infografik.
- 1.6 Menjelaskan proses fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat melalui pengamatan infografik.
- 1.7 Menganalisis tahap-tahap reaksi terang dan gelap pada fotosintesis melalui pengamatan infografik.
- 1.8 Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan fotorespirasi pada tumbuhan melalui eksperimen.

Model Pembelajaran	: tatap muka
Kegiatan pembelajaran utama	: individu, berpasangan, berkelompok
Penilaian	: asesmen individu, asesmen kelompok
Jenis asesmen	: tertulis, performa
Metode	: diskusi, eksplorasi, praktikum, dan presentasi

F. Daftar Kegiatan

1. Struktur dan fungsi enzim
2. Mekanisme kerja enzim
3. Faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim
4. Perbedaan anabolisme dengan katabolisme
5. Tahap-tahap respirasi aerob
6. Fermentasi alkohol dan laktat
7. Tahap-tahap reaksi terang dan gelap pada fotosintesis melalui pengamatan infografik.
8. Faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan fotorespirasi pada tumbuhan.

G. Kegiatan Pembelajaran

Kegiatan 1 - Struktur dan Fungsi Enzim

Kelas	: 12
Alokasi waktu	: 135 menit
Jumlah pertemuan	: 1 pertemuan
Jumlah peserta didik	: 28 – 34 orang
Fase capaian	: F – Struktur dan Fungsi Enzim

Tujuan Pembelajaran:

Mendeskripsikan struktur dan fungsi enzim dengan tepat melalui infografik.

Profil Pelajar Pancasila:

Bernalar kritis, bergotong-royong.

Model Pembelajaran:

- ▶ Tatap muka

Perangkat Ajar dapat Digunakan untuk Mengajar:

- ▶ Peserta didik regular/tipikal
- ▶ Peserta didik dengan hambatan belajar
- ▶ Peserta didik cerdas istimewa berbakat istimewa (CIBI)
- ▶ Peserta didik dengan ketunaan

Ketersediaan Materi:

- ▶ Pengayaan untuk peserta didik CIBI
- ▶ Alternatif penjelasan, metode, atau aktivitas, untuk peserta didik yang sulit memahami konsep

Kegiatan Pembelajaran Utama:

- ▶ Individu
- ▶ Berpasangan
- ▶ Berkelompok (lebih dari dua orang)

Evaluasi Ketercapaian Pembelajaran:

- ▶ Asesmen individu
- ▶ Asesmen kelompok

Jenis Asesmen:

- ▶ Tertulis
- ▶ Performa



Metode:

- | | |
|---------------|----------------------|
| ▶ Diskusi | ▶ Eksplorasi |
| ▶ Presentasi | ▶ Permainan |
| ▶ Demonstrasi | ▶ Ceramah |
| ▶ Proyek | ▶ Kunjungan lapangan |
| ▶ Eksperimen | ▶ Simulasi |

Alat dan Bahan : Alat tulis, kertas kosong, lembar pengamatan

Media : Google Slide

Sumber : Buku Siswa Biologi Kelas XII

Persiapan Mengajar

1. Mencetak lembar struktur enzim untuk bahan diskusi sesuai jumlah peserta didik.
2. Membaca referensi mengenai struktur dan fungsi enzim.

Pelaksanaan Kegiatan Pembelajaran**1. Ide Utama**

Melakukan analisis gambar tentang komponen penyusun enzim. Menganalisis enzim merupakan kegiatan penguraian suatu enzim atas berbagai bagiannya dan penelaahan bagian itu sendiri serta hubungan antarbagian untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman arti keseluruhan. Aktivitas ini biasa dilakukan dalam proses pembelajaran bermakna dan mendalam. Terdapat bermacam-macam struktur penyusun enzim tergantung jenis dan fungsinya.

2. Urutan Kegiatan**Pembuka (20 menit)**

- a. Guru mengucapkan salam dan menyapa para peserta didik.
- b. Peserta didik berdoa sebelum memulai kegiatan belajar.
- c. Peserta didik mengingat kembali macam-macam enzim dan sifat protein pada sistem pencernaan.
- d. Peserta didik membaca pendahuluan bab.
- e. Peserta didik diarahkan untuk menuliskan pertanyaan dari gambar dan pendahuluan bab. Guru mengarahkan pada pertanyaan berikut.
 - Apakah nama enzim yang dihasilkan pada rongga mulut?
 - Apakah fungsi enzim yang dihasilkan oleh kelenjar yang terdapat pada rongga mulut?

- Coba diingat, senyawa apakah yang digunakan untuk membentuk enzim?
- f. Peserta didik distimulasi untuk menjawab pertanyaan yang dimunculkan maupun yang dituliskan.
- g. Peserta didik diajak berpikir bahwa enzim sebagai salah satu agen dalam setiap reaksi kimia dalam sel makhluk hidup. Kemudian, mereka diajak membayangkan bagaimana jika tidak ada enzim pada sel hidup. Tekankan bahwa enzim peranannya sangat penting dalam setiap reaksi kimia di dalam sel hidup yang membutuhkan energi untuk aktivitas kehidupan sel.

Kegiatan Inti

- a. Pembagian pasangan (20 menit)
 - Peserta didik mendapat kertas yang dilipat menjadi dua bagian berisi tulisan atau gambar tertutup dari guru. Isi kertas berupa tulisan/gambar tentang: 1) apoenzim, 2) koenzim, 3) kofaktor, dan 4) inhibitor.
 - Peserta didik diminta mencari kelompoknya, di mana satu kelompok terdiri atas pasangan “apoenzim”, “koenzim”, “kofaktor”, dan “inhibitor” yang sesuai.
 - Tantangan aktivitas ini, yaitu peserta didik diminta tidak bersuara dalam mencari pasangan yang tepat.
 - Setelah mendapatkan pengarahan teknis kegiatan, peserta didik diminta membuka lipatan kertas dan mengangkat isi tulisan kertas yang dipegangnya agar dapat terlihat pasangan yang sesuai.
 - Jika sudah dirasa sesuai, peserta didik diminta duduk berpasangan.
 - Selama kegiatan pembelajaran berlangsung, guru mengecek apakah pasangan sudah sesuai atau belum.
- b. Pengerjaan Aktivitas 1.1 (60 menit)
 - Peserta didik diminta melakukan pengamatan bersama kelompoknya untuk mengerjakan Aktivitas 1.1.
 - Guru menginformasikan bahwa hanya satu orang peserta didik dalam pasangan tersebut yang diizinkan membuka handphone untuk mengerjakan Aktivitas 1.1 (Tantangan aktivitas ini, yaitu peserta didik diminta untuk tidak



menggunakan sumber Wordpress, Wikipedia, Blogspot, dan sejenisnya).

- Minta peserta didik berdiskusi dan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada pada Aktivitas 1.1. dengan mengaitkan materi sifat enzim. Perhatikan cara peserta didik berdiskusi untuk melatih dimensi bernalar kritis dan bergotong royong.

c. Penutup (35 menit)

- Beberapa perwakilan pasangan peserta didik diminta mempresentasikan hasil kerjanya. Sementara, peserta didik lainnya diminta menanggapi secara santun.
- Peserta didik mendapatkan konfirmasi jawaban dari guru dengan memberikan penekanan pada:
 - 1) komponen enzim tersusun atas apoenzim dan gugus prostetik, dan
 - 2) macam-macam enzim yang berguna untuk metabolisme dalam tubuh manusia.
- Peserta didik membuat refleksi pada buku catatannya masing-masing mengenai “hal menarik apa yang telah dipelajari pada hari ini?” dengan memberikan tekanan pada peserta didik untuk bersyukur atas karunia Tuhan karena hidup lebih sempurna dengan kehadiran enzim di dalam tubuh kita.
- Guru menutup pembelajaran dan menyampaikan agenda untuk pertemuan berikutnya.
- Guru mengucapkan salam.

Refleksi Guru

- a. Apakah semua peserta didik terlibat dalam diskusi? Apa yang bisa dilakukan untuk membuat peserta didik aktif bertanya dan berpendapat?
- b. Apakah peserta didik dapat mengisi lembar pengamatan dengan lancar? Apa tantangan yang mereka hadapi?

3. Kriteria untuk Mengukur Ketercapaian CP

- a. Peserta didik dapat mengerjakan Aktivitas 1.1 dengan nilai mencapai kriteria ketuntasan minimum.
- b. Peserta didik dapat menganalisis struktur enzim.

- c. Peserta didik dapat menggunakan informasi dari sumber yang terpercaya.

4. Proses Asesmen

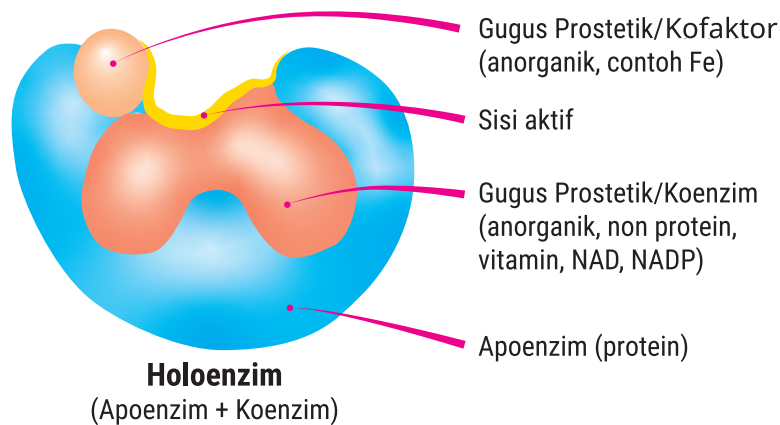
- Guru melakukan pengamatan selama diskusi berlangsung. Hasil pengamatan berupa jawaban dan partisipasi peserta didik dalam diskusi dan dapat dicatat dalam jurnal untuk ditinjau kembali.
- Guru memeriksa kelengkapan lembar pengamatan peserta didik.

H. Lampiran

Contoh Lembar Kerja

Aktivitas 1.1

- Buat kelompok yang terdiri atas 3 – 4 orang.
- Perhatikan infografis berikut.



Gambar 1. Struktur enzim.

- Jawab pertanyaan berikut dengan berdiskusi bersama kelompok.
 - Temukan dua komponen utama penyusun enzim?
 - Temukan dua macam penyusun gugus prostetik pada enzim?
 - Senyawa apakah yang menyusun bagian apoenzim?
 - Bagian dari enzim yang manakah yang merupakan sisi aktif?
 - Senyawa apakah yang menyusun gugus prostetik yang disebut dengan koenzim?

- f. Senyawa apakah yang menyusun gugus prostetik yang disebut dengan kofaktor?
- g. Komponen manakah yang berperan sebagai sisi tidak aktif pada enzim?
8. Tuliskan hasil diskusi kalian dalam bentuk laporan dan presentasikan di depan kelas.

Contoh Rubrik Penilaian

Penilaian Aktivitas Analisis Inforgrafik

Kriteria	Skor		
	1	2	3
Keaktifan dalam pengamatan dan diskusi	Tidak semua anggota kelompok aktif dengan peran yang adil.	Semua anggota kelompok aktif, namun ada satu orang mendominasi.	Semua anggota kelompok aktif dengan peran yang adil.
Kelengkapan temuan pengamatan	Tidak semua hasil pengamatan dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan.	Semua hasil pengamatan dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan.	Semua hasil pengamatan dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan yang dipadukan dengan pustaka.
Kemampuan presentasi	Hasil tidak dipresentasikan dan tidak menanggapi presentasi orang lain.	Hasil tidak dipresentasikan, namun menanggapi presentasi orang lain.	Hasil dipresentasikan dan menanggapi presentasi orang lain.
Isi penjelasan hasil pengamatan	Penjelasan hanya menyalin dari sumber, tepat, namun kurang lengkap.	Dijelaskan menggunakan bahasa sendiri yang mudah dipahami, tepat, namun kurang lengkap.	Dijelaskan menggunakan bahasa sendiri yang mudah dipahami, lengkap, dan tepat.
Sumber/ rujukan	Menggunakan sumber yang tidak diperbolehkan.	Menggunakan sumber populer yang tingkat kepercayaannya kurang tinggi.	Menggunakan sumber dari situs berita, situs pemerintahan, instansi pendidikan, paper, dan sebagainya.

Program Remedial

Peserta didik diminta mengevaluasi kembali jawaban-jawaban yang salah dari soal pada Aktivitas 1.1.

Program Pengayaan

Peserta didik yang sudah memenuhi kriteria ketuntasan minimum dapat ditugasi untuk membuat daftar macam enzim yang terlibat pada proses pencernaan, respirasi, dan fotosintesis.



-----● Glosarium

<i>artificial intelligence</i>	: kecerdasan buatan yang dimodelkan dari kecerdasan manusia.
apoenzim	: bagian sisi aktif enzim yang tersusun atas protein.
ATP	: senyawa kimia yang mampu mengikat atau menyimpan energi.
anabolisme	: penyusunan zat dari senyawa/molekul sederhana menjadi senyawa kompleks yang membutuhkan energi
adaptasi	: kemampuan makhluk hidup dalam penyesuaian diri terhadap kondisi lingkungan yang baru.
abiogenesis	: paham yang menyakini bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati.
alela	: pasangan alternatif gen pada lokus yang bersesuaian pada kromosome homolog
atavisme	: penyimpangan semu hukum mendel, di mana gen dominan jika bersama gen dominan lainnya yang tidak sealel berinteraksi membentuk sifat baru.
biogenesis	: paham yang menjelaskan munculnya kehidupan dari kehidupan sebelumnya.
bioetika	: ilmu pengetahuan untuk mempertahankan hidup dan terpusat pada penggunaan ilmu-ilmu biologis untuk memperbaiki mutu hidup.
dekarboksilasi oksidatif	: reaksi pembentukan asetil koA dari asam piruvat dengan melepaskan karbon dioksida dan nadh.
enzim	: zat yang berfungsi mempercepat reaksi namun tidak mengalami perubahan selama reaksi sehingga dapat digunakan berulang.
evolusi	: perubahan atau perkembangan pada makhluk hidup secara berangsur-angsur dalam kurun waktu yang lama.
epistasis	: gen dominan apabila bersama gen dominan lainnya yang tidak sealel menutup gen dominan lainnya.
eukariotik	: sel yang sudah mempunyai membran sel.

fenotip	: bentuk organisme yang dapat diamati merefleksikan pengaruh genetik dan lingkungan.
fermentasi	: bentuk organisme yang dapat diamati merefleksikan pengaruh genetik dan lingkungan.
fotosintesis	: peristiwa sintesis amilum di dalam kloroplas dengan bantuan cahaya.
fotofosforilasi	: proses perubahan foton menjadi energi kimia yang terjadi pada reaksi terang fotosintesis.
genotip	: susunan gen dari suatu individu.
<i>genetic drift</i>	: kejadian acak yang mengubah distribusi dan frekuensi alel dalam suatu populasi.
glikolisis	: peristiwa pemecahan glukosa menjadi 2 asam piruvat dengan hasil samping berupa 2 atp dan 2 nadh ² .
homozigot	: zigot dengan alel yang identik untuk ciri tertentu.
heterozigot	: zigot dengan dua alel yang berbeda untuk ciri tertentu.
IOT	: singkatan dari <i>internet of thing</i> , yaitu internet untuk segala sesuatu.
inhibitor	: zat-zat yang berfungsi menghambat biasanya pada kerja enzim.
katabolisme	: desimilasi yang merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.
koenzim	: desimilasi yang merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.
kofaktor	: molekul anorganik yang menyusun bagian non protein dari sebuah enzim.
kultur jaringan	: teknologi untuk memperoleh bibit unggul dengan cara menumbuhkan sebagian jaringan tumbuhan pada media khusus.
kloning	: proses pembiakan vegetatif atau kultur jaringan pada hewan dan manusia.



kriptomeri	: gen dominan jika berada dengan gen dominan lainnya yang tidak sealel keduanya menyembunyikan sifat dominannya.
meiosis	: pembelahan sel yang menghasilkan empat sel anakan yang masing-masing sel anakan mengandung separuh kromosom dari kromosom induknya.
mitosis	: pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anakan dan setiap sel anakan mengandung jumlah kromosom yang sama dengan kromosom induknya.
mutasi	: peristiwa perubahan susunan gen yang berdampak pada perubahan genotip individu.
NADH	: koenzim yang berfungsi sebagai pengangkut elektron universal, terbentuk dari NAD^+ (<i>nicotinamide adenine dinucleotide</i>) yang mengikat elektron berenergi tinggi (e^-) dan satu proton (H^+) dari hasil reaksi pembongkaran ikatan kimia pada zat makanan.
NADPH	: koenzim yang berfungsi sebagai pengangkut elektron, terbentuk ketika NADP^+ (<i>nicotinamide adenine dinucleotide phosphate</i>) menerima elektron dan proton membentuk nadph.
PCR	: singkatan dari <i>polymerase chain reaction</i> , yaitu pemeriksaan laboratorium untuk mendeteksi keberadaan material genetik dari sel.
prokariotik	: sel yang belum mempunyai membran inti.
polimeri	: gen dominan yang bersama gen dominan lainnya yang tidak sealel secara bersama-sama menentukan sifat yang sama.
reaksi terang	: tahap fotosintesis yang menggunakan energi cahaya untuk membentuk ATP dan NADPH.
reaksi gelap	: tahap fotosintesis yang berfungsi membentuk zat makanan menggunakan energi yang dihasilkan pada reaksi terang.
respirasi	: proses pembentukan energi (ATP) dari zat makanan tanpa menggunakan oksigen.
rubisco	: enzim yang diperlukan untuk menggabungkan ribulosa bifosfat (RuBP) dengan karbon dioksida pada reaksi gelap (siklus calvin).
rekayasa genetika	: usaha manusia menciptakan varietas baru dengan teknologi memotong dan menyambung gen.

- siklus krebs : nama lain siklus asam sitrat sesuai dengan nama ilmuwan yang berperan dalam penemuan siklus ini yaitu hans adolf krebs.
- stem cell* : sel yang belum memiliki fungsi khusus sehingga dapat mengubah, menyesuaikan, dan memperbanyak diri tergantung lokasi sel tersebut berada.
- transpor elektron : tahap akhir respirasi aerob di mana elektron-elektron yang berasal dari nadh dan FADH^2 dipindahkan melalui rantai transpor elektron untuk dikonversi menjadi atp, hingga akhirnya diterima oleh akseptor elektron yang terakhir yaitu oksigen.
- vaksin : bibit penyakit yang dilemahkan atau dimatikan yang bertujuan untuk memperoleh imunitas.



-----● Daftar Pustaka

- Albert, B dkk. (2008). *Molecular Biology of the Cell Garland Science*. New York: Francis Group.
- Ariningsih, E. (2016). *Prospek Penerapan Teknologi Nano dalam Pertanian*. Forum Penelitian Agro Ekonomi.
- Campbell dkk. (2010). *Biologi (edisi 8, Jilid 1)*. Jakarta: Erlangga.
- De Vicente, C.M. (2005). *Issues on Gene Flow and Germplasm Management*. Rome: IPGRI.
- Dinata, Deden Indra. (2017). *Bioteknologi Pemanfaatan Mikroorganisme dan Teknologi Bioproses*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EKG.
- Ernst, Mayr. (2005). *Evolusi: Dari Teori ke Fakta*. Jakarta: Gramedia.
- Henuhili, V. (2008). *Genetika dan Evolusi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hikmah, R. (2017). *Bioteknologi*. Surakarta: Azka Presindo.
- Irwandi. (2020). *Strategi Pembelajaran Biologi*. Bandung: Pustaka Reka Cipta.
- Johnson, Reaven. (2003). *Biology, USA: McGraw Hill-Highger Education*. Inc.
- Jones, M. and G. Jones. (2004). *Biology (3th ed)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jones, Mary dkk. (2007). *Biology*. New York: Cambridge University Press.
- Kolbert, E. (2020). *The sixth extinction*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Kusmaryanto. (2008). *Human Cloning An Ethical Approach*. Yogyakarta: Dehonian Press.
- Mackean, D.G. (2004). *Biology*. London: Hooder Murray.
- Mader, S.S. (2002). *Biology*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Mardani, Yusuf dan Agus Krisno B. (2010). *Penggunaan Stem Cell dalam Bidang Ilmu Kedokteran*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Marx, Jean L. (1991). *Revolusi Bioteknologi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Masson dkk. 2017. *Biology (11th ed)*. New York: McGraw-Hill Education.
- Masson dkk. 2017. *Biology (12th ed)*. New York: McGraw-Hill Education.
- Megasari, Ritni dkk. (2012). *Identifikasi Keragaman Bakteri pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman dengan Lumpur Aktif Limbah Tahu*. Enviroscience. Vol 8. No 2. Semarang.
- Musbikin, Imam dan Aziz Mushoffa. (2001). *Kloning Manusia Abad XXI, Antara Harapan, Tantangan dan Kenyataan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Pickering, W.R. (2000). *Complete Biology*. Inggris: Oxford University Press.

Setiowati, Retno Diah dkk. (2013). *Klon Kelapa Sawit Mengenal Bahan Tanaman Kelapa Sawit Hasil Kultur Jaringan*. Medan Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

Siteoe, Mangku. (2001). *Rekayasa Genetika*. Jakarta: Grasindo.

Starr, C. (2006). *Basic Concepts in Biology*. Australia: Thomson.

Starr, C., Taggart, R. (2004). *Biology: The Unity and Diversity of Life*. Belmont: Brooks/Cole-Thomson Learning.

Suryo. (1992). *Genetika (cetakan ke-5)*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Urry dkk. (2021). *Biology* (12th ed). New York: Pearson Education inc.

Referensi Internet

Cornell, B. (2016). *Metabolism*. <http://ib.bioninja.com.au>. Dilihat pada 21 Juli 2022.



-----● Indeks

A

abiogenesis 245
adaptasi 228·245
alela 245
anabolisme ·227·
ix·231·245
apoenzim ·x·234
artificial
intelligence 245
ATP 221·222·223·
224·239·240·
241·242·245

B

bioetika 229·245
biogenesis 245
bioproses ix

D

dekarboksilasi
oksidatif 245
DNA 227·228·245

E

enzim ·226·227·ix·
x·231·232·233·
234·235·236·237·
238·239·240
epistasis 245
eukariotik ·245
evolusi 225·
226·228·245

F

fenotip 228·245

fermentasi ·227·ix·
230·231·245

fotofosforilasi 245

fotosintesis 227·231·
238·240·241·245

G

gen dominan
239·241·245
genetic drift 228·245
genotif 245
gen resesif ·245
glikolisis 245

H

heterozigot ·245
homozigot ·245

I

inhibitor ·x
IOT 240·245

K

katabolisme ·227·
ix·231·245
katalisator 245
kloning 245
koenzim ·x·234
kofaktor ·x·234
kriptomeri 245
kultur jaringan 229·
240·245·251

M

meiosis 228·245

mitosis 228·245

mutasi 228·245

N

NADH 239·241·242·245
NADPH 241·245

P

PCR 241·245
polimeri 245
prokariotik ·245

R

reaksi gelap 241·245
reaksi terang ·227·ix·
231·240·241·245
rekayasa
genetika 229·245
respirasi ·227·ix·230·
231·238·242·245
respirasi seluler ix
rubisco 245

S

siklus Krebs 245
stem cell 245
sterilisasi 245

T

tempe 229·245
transpor
elektron 242·245

V

vaksin 245



PROFIL PELAKU PERBUKUAN

● Profil Penulis

Shilviani Dewi, S.Pd

Email : shilviani.dewi@gmail.com

Bidang Keahlian : Guru Biologi

Riwayat Pekerjaan

1. 2011 – 2015: Staf Surya Institute
2. 2015 – 2016: Guru Biologi Sekolah Kharisma Bangsa
3. 2016 – 2020: Guru Biologi Sekolah Insan Cendikia Madani
4. 2020 – sekarang: Guru Biologi di SMA Negeri 47 Jakarta

Riwayat Pendidikan

S1 program pendidikan Biologi di Universitas Negeri Jakarta



Amalia Shari, S.Pd., M.Biomed

Email : amaliashari.aretadena@gmail.com

Bidang Keahlian : Biologi/ Biologi Molekuler, Andrologi dan Bakteriologi

Riwayat Pekerjaan

2016 – 2020 : Dosen prodi D4 Teknologi Laboratorium Medis Universitas Binawan

2020 – sekarang : Dosen prodi D4 Teknologi Laboratorium Medis dan staf LPPM Politeknik Kesehatan Hermina

Riwayat Pendidikan

S1 Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Jakarta (2006-2010)

S2 Biologi Kedokteran, Universitas Indonesia (2012-2015)

Judul Buku yang Ditulis

1. Modul Praktikum Instrumen Media dan Reagensia (2022)
2. Patologi Gerak dan Sendi (2022)
3. Petunjuk Praktikum Hematologi Dasar (2022)



Rani Eliza Purba, S.Pd, B.Ed.

Email : ranirlisaelpurba@gmail.com
Instansi : SMA
Alamat Instansi : SMP Methosit Pelita Kasih Medan
Bidang Keahlian : Biologi



Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru Mapel Biologi di Sekolah Lentera Harapan Nias (2018–2021)
2. Guru Mapel Biologi di Sekolah Tunas Harapan Bogor (2021 – 2022)
3. Guru Mapel Biologi di SMP Methodist Pelita Kasih Medan (2022 – sekarang)
4. Guru Mapel Kimia di SMA Methodist Pelita Kasih Medan (2022 – sekarang)

Riwayat Pendidikan

S1 Pendidikan Biologi Universitas Pelita Harapan (2014 – 2018)

Judul Buku yang Ditulis

Antologi Puisi Mimpi-Mimpi Cinta Pertama

Remigius Gunawan Susilowarno

Email : gsusilowarno1@gmail.com
Instansi : SMA BUDI UTAMA YOGYAKARTA
Alamat Instansi : Jalan Wijaya Kusuma 121 Siduadi Mlati
Sleman DIY
Bidang Keahlian : Biologi dan Penelitian dan Evaluasi Pendidikan



Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru Biologi SMA Budi Utama Yogyakarta (2015-sekarang)
2. Guru SMA Stella Duce 1 Yogyakarta (1991 – 2015)
3. Dewan Pembina Yayasan Sagasitas (2017 – sekarang)
4. Predium Asosiasi Guru Pembimbing Penelitian Indonesia (AGPPI) Tingkat Pusat (2013 – 2019)
5. Sekjen AGPPI/FPPBI (2019 – sekarang)
6. Dewan Pembina MGPPK DIY (2018 – sekarang)
7. Dewan Pembina MGPPK Kabupaten Sleman (2019 – sekarang)
8. Manager Akademik Bimbel YSC Yogyakarta (2010 – 2012)
9. Sekretaris Jaringan Peleitian Pendidikan Kota Yogyakarta (JP2KY) 2008 - 2012
10. Ketua II Musyawarah Guru Pengembang Penelitian (MGPP) Kota Yogyakarta (2011 – 2015)
11. Presedium Asosiasi Guru Pembimbing Penelitian Indonesia (AGPPI) Tingkat Pusat (2013 – 2020)
12. Tim Redatur/Editor Jurnal Ilmiah Penelitian Sagasitas Yogyakarta (2010 – 2020)
13. Tim Redaktur/Editor Jurnal Ilmiah Pendidikan PIAWAI Yogyakarta (2014 – 2015)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

S1 Pendidikan Biologi, FPMIPA IKIP Yogyakarta (1988 – 1993)

S2 Penelitian dan Evaluasi Pendidikan Universitas Sarjana Wiyata Taman Siswa (2009-2012)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. KIR DAN PETUNJUK MEMBIMBING DAN MENELITI REMAJA, PT.Grasindo, Jakarta, 2003
2. BIOLOGI SMA 1A,1B, 2A,2B,3A,3B, PT. Grasindo, Jakarta, 2005
3. BIOLOGI SMA X.XI IPA, XII IPA, PT. Grasindo Jakarta, 2007
4. CARA MUDAH MENGHADAPI UJIAN NASIONAL BIOLOGI, PT. Grasindo, Jakarta 2008.2009, 2010,2011, 2012.2013, 2014
5. STRATEGI JITU MENGHADAPI TPA SNPTN, PT. Grasindo Jakarta, 2013
6. TPA MENUJU PTN, PT. Grasindo Jakarta, 2015
7. GURU BAGI PENELITI BELIA, Candra Ide Cemerlang, Yogyakarta 2019
8. JEJAK HATI PAK GURU, Candra Ide Cemerlang, Yogyakarta 2022

● Profil Penelaah

Endang Semiarti

Email : endsemi@ugm.ac.id
Bidang Keahlian : Biologi/Kultur Jaringan Tumbuhan/
Bioteknologi Tumbuhan

Riwayat Pekerjaan

1 Maret 1988 – sekarang : Dosen Fakultas Biologi UGM

Riwayat Pendidikan

S1: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (1981-1986)

S2: Jurusan Ilmu-ilmu MIPA, Fakultas Pasca Sarjana UGM (1987-1989)

S2: Graduate School of Science, Nagoya University, Japan (Major in Biological Science) (1996-1998)

S3: Graduate School of Science, Nagoya University, Japan (Major in Biological Science) (1998-2001)

Judul Buku yang pernah ditulis:

1. Ari Wijayani and Endang Semiarti. Pesona Anggrek Vanda. PT, Kanisius, Yogyakarta. (2009)
2. Semiarti E., Indrianto A., Purwantoro A., Machida Y. and Machida C. Agrobacterium-mediated Genetic Transformation of Indonesian Orchids for Micropropagation. A Chapter in: Scientific e-book Genetic Transformation, ISBN 978-953-307-364-4, ed by M.Alvarez, InTech-Open Publisher, <http://www.intechweb.org/>. (2011)
3. Purnomo, Trijoko, R.P. Sancayaningsih, et al. (2015). Pengelolaan Ekosistem DAS Di Kabupaten Gianyar

4. Semiarti E., Purwantoro A., and Sari I.P. (2022). Biotechnology Approaches on Characterization, Mass Propagation, and Breeding of Indonesian Orchids *Dendrobium lineale* (Rolfe.) and *Vanda tricolor* (Lindl.) with Its Phytochemistry. A chapter in: *Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture*. Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-030-38392-3, Print ISBN: 978-3-030-38391-6 https://doi.org/10.1007/978-3-030-11257-8_12-1, <http://link-springer-com-443.webvpn.fjmu.edu.cn/referencework/10.1007/978-3-030-11257-8>
5. Purwantoro A., Purwestri Y.A., Lawrie M.D., and E. Semiarti (2022). Genetic transformation via plant tissue culture techniques: Current and future approaches. A Chapter in: *Advances In: Plant Tissue Culture Current Developments and Future Trends*, ISBN: 978-0-323-90795-8 Edited by A.C. Rai, A. Modi, M.Singh, Academic Press, UK, Elsevier Inc. P. 131-156. <https://www.elsevier.com/books-and-journals>
6. Semiarti E., Purwestri Y.A., Rohman S., and Putri W.A. (2022). Genetic Transformation in Prokaryotic and Eukaryotic Cells. A Chapter in: *Molecular Cloning*. IntechOpen Ltd., DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.103839>

Widi Purwianingsih

Email : widipurwianingsih@upi.edu
 Bidang Keahlian : Pembelajaran Biologi/Pembelajaran IPA

Riwayat Pekerjaan

Dosen/Staf Pengajar di Prodi Pendidikan Biologi dan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Pendidikan Indonesia.

Riwayat Pendidikan

1. S1 Fisiologi Tumbuhan, Institut Teknologi Bandung, tahun lulus 1985
2. S2 Biologi Fungsional, Institut Teknologi Bandung, tahun lulus 1997
3. S3 Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Indonesia, tahun lulus 2011

Judul Buku/Artikel yang pernah ditulis:

1. Pemanfaatan ekstrak kalus *Morinda citrifolia* (Mengkudu) sebagai Biopestisida terhadap *Bactrocera dorsalis* Hend. (2013)
2. Implikasi pendidikan karakter berbasis budaya Islam terhadap prestasi belajar Biologi dan karakter siswa SMA. (2013)
3. Programme Development for Debriefing of Biotechnology Pedagogical Content Knowledge (PCK) through lecture Kapitula Selektif Biologi SMA. (2013)
4. Implikasi pendidikan karakter berbasis budaya Islam terhadap prestasi belajar Biologi dan karakter siswa SMA. (2013)
5. Efektivitas Penggunaan Peta Konsep sebagai strategi pembelajaran dan alat evaluasi untuk meningkatkan penguasaan konsep siswa SMP pada materi sistem ekskresi. (2014)
6. Analisis hubungan antara habits of mind dan hasil belajar biologi siswa kelas XII SMA Kota Bandung. (2014)

7. Profil Kemampuan PCK calon guru Biologi sebelum mengikuti perkuliahan Perencanaan Pembelajaran. (2014)
8. Kemampuan PCK guru Biologi dalam mengajarkan materi sistem hormon. (2014)
9. Formation flavonoid secondary metabolites in callus culture of *Chrysanthemum cinerariofolium* as alternative provision medicine. (2015)
10. Upaya Pelestarian tanaman edelweiss (*Anaphalis javanica*) dengan metode kultur jaringan. (2016)
11. Formation flavonoid secondary metabolites in callus culture of *Chrysanthemum cinerariofolium* as alternative provision medicine. (2016)
12. Integration Of Reasoning and Wellbeing on the Lesson Plan and Implementation in Learning. (2017)
13. Teachers ability to integrate reasoning and student wellbeing in Pedagogical Content Knowledge. (2017)
14. Genetic Pedagogical Content Knowledge (PCK) Ability Profile of Prospective Biology teacher. (2017)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir)

1. Improving students communication skills in Biology (A classroom research of implementation of lesson study in SMPN 1 Tanjungsari Kabupaten Sumedang). Penelitian Mandiri, tahun 2009.
2. Pemanfaatan Ekstrak Kunyit (*Curcuma domestica Val*) sebagai Biofungisida. Penelitian Hibah Bersaing, tahun 2009.
3. Program Pembekalan Kemampuan Pedagogical content Knowledge (PCK) Bioteknologi melalui Penguasaan konsep-konsep dasar, bagi mahasiswa calon guru Biologi. (Penelitian Hibah Doktor, DIKTI, 2010).
4. Penelitian disertasi berjudul Pengembangan Program Pembekalan Pedagogical Content Knowledge (PCK) Bioteknologi melalui Perkuliahan Kapita Selekta Biologi SMA. (Disertasi didanai oleh BPPS dan Hibah Doktor DIKTI, th 2010-2011).
5. Pembekalan Pedagogical Content Knowledge (PCK) calon guru biologi melalui perkuliahan Kapita Selekta (2013) (Didanai Dana BOPTN DIKTI, skim Penelitian PPKBK, 50 juta)
6. Pemanfaatan Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica Val.*) sebagai Biofungisida dalam penghambatan sporulasi jamur *Colletotricum gloeosporioides Pnz.* dan *Fusarium oxysporum Schlecht.* (2013) . Didanai Dana Hibah Bersaing Dikti.
7. Pembentukan metabolit sekunder flavonoid pada kultur kalus *Chrysanthemum cinerariofolium* sebagai alternatif penyediaan bahan obat tahun 1. Didanai Hibah Bersaing Dikti 2015.
8. Pembentukan metabolit sekunder flavonoid pada kultur kalus *Chrysanthemum cinerariofolium* sebagai alternatif penyediaan bahan obat tahun 2. Didanai Hibah Bersaing Dikti 2016.
9. Upaya Pelestarian tanaman edelweiss (*Anaphalis javanica*) dengan metode kultur jaringan. Dana mandiri 2016. (Widi,Dini, Kusdianti)
10. Pembentukan Senyawa Obat Quercetin pada Kultur Kalus *Chrysanthemum cinerariofolium*, Seminar Nasional Biologi dan pembelajarannya, UIN Bandung 2017

● Profil Ilustrator

Hasbi Yusuf

Email : abi.yusuf09@gmail.com

Bidang Keahlian : Desainer

Riwayat Pekerjaan

1. Desainer & Ilustrator RSL Award
2. Desainer & Ilustrator SD Menara St. Martinus Makasar

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. 2020 Buku Panduan Guru Seni Musik untuk SMP Kelas VII
2. 2021 Buku Panduan Guru Seni Musik untuk SD Kelas IV
3. 2021 Buku Panduan Guru Seni Musik untuk SMP Kelas VIII
4. 2021 Buku Guru Matematika Tingkat Lanjut SMA Kelas XII
5. 2021 Matematika Tingkat Lanjut SMA Kelas XII
6. 2021 Geografi SMA Kelas XI
7. 2021 Buku Panduan Guru Geografi SMA Kelas XI
8. 2022 Dasar-Dasar Kuliner Semester 1 SMK Kelas X



● Profil Editor

Dwi Pajar Ratriningsih

Email : sifa.february@gmail.com

Bidang Keahlian : Biologi

Riwayat pekerjaan/profesi (10 Tahun Terakhir)

1. April 2013 – sekarang penulis dan editor freelance
2. Maret 2010 – April 2013 Editor di PT Puspa Swara
3. April 2008 – Maret 2010 Editor dan penulis di PT Zikrul Hakim

Riwayat Pendidikan

S1 : Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (2001-2006)

Judul Buku yang pernah Disunting dalam 5 Tahun Terakhir:

1. Buku Panduan Guru Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas IV (2021);
2. Buku Panduan Guru Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas V (2021);
3. Buku Panduan Guru Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas VI (2021);
4. Buku Siswa Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas IV (2021);
5. Buku Siswa Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas V (2021);
6. Buku Siswa Ilmu Pengetahuan Alam dan Sosial untuk SD Kelas VI (2021);
7. Buku Teks Peminatan Biologi untuk SMA/MA Kelas X (2019);
8. Buku Teks Pelajaran Program Keahlian: Dasar Keamanan Pangan untuk SMK/MAK Kelas X;



9. Buku Teks Pelajaran Program Keahlian Keperawatan: Anatomi dan Fisiologi untuk SMK/MAK Kelas X (2019);
10. Buku Evaluasi Tematik: BETA untuk SD/MI Kelas VI (2018); dan
11. Buku Pembelajaran Tematik Terpadu: Peduli terhadap Makhluk Hidup untuk SD/MI Kelas IV (2017).

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Buku Pintar Dana Desa: Dana Desa untuk Kesejahteraan Rakyat (2022);
2. Buku Pengayaan Pengetahuan Tingkat SMP/MTs: Alat Transportasi di Ibukota dari Masa ke Masa (2020);
3. Buku Pengayaan Pengetahuan Tingkat SMP/MTs: Ensiklopedi Batik Nusantara (2020);
4. Buku Pengayaan Pengetahuan Tingkat SMP/MTs: Mengenal Kain Nusantara (2020);
5. Budidaya Udang Vaname yang Menguntungkan (2020);
6. Buku Pengayaan Mengenal Toga Buah dan Biji (2020);
7. Buku Pengayaan Mengenal Toga Bunga (2020);
8. Buku Pengayaan Budidaya Jamur (2019);
9. Buku Teks Pelajaran Biologi untuk SMP kelas IX (2019);
10. Buku Pengayaan Bisnis Cabai Hias (2018);
11. Ensiklopedi Napza: Zat Adiktif Jenis-jenis dan Kandungannya (2016);
12. Dongeng Interaktif: Boneka Pemecah Kacang vs Raja Tikus (2014);
13. Ensiklopedia Penemuan Terhebat Ilmuwan Muslim (2013);
14. Catatan Sains Hebat (2013);
15. Pelangi, Tornado, Gerhana & 25 Fenomena Alam Lainnya yang Perlu Kamu Ketahui (2012);
16. 35 Cerita Sains (2012);
17. Buku Pintar Matematika seri Intermediate (2012); dan
18. Buku Pintar Matematika seri Basic (2011).

Arifah Dinda Lestari

Email : arifahdinda89@gmail.com

Bidang Keahlian : Biologi

Riwayat pekerjaan/profesi (10 Tahun Terakhir)

Januari 2018 – sekarang: Analis Penilaian Buku di Pusat Perbukuan
Kemendikbudristek

Riwayat Pendidikan

S1 : Fakultas Biologi Universitas Indonesia (2007-2010)

Judul Buku yang pernah Disunting dalam 5 Tahun Terakhir:

1. Buku Panduan Guru Pendidikan Anak Usia Dini Elemen Agama dan Budi Pekerti (2021)



● Profil Desainer

Sona Purwana

Email : inisihsona@gmail.com

Bidang Keahlian : Desain Grafis

Riwayat Pekerjaan/Profesi

Desainer Grafis, 2010-sekarang

Riwayat Pendidikan

S1 Desain Komunikasi Visual, Sekolah Tinggi Teknologi Bandung, tahun lulus 2021



Pengalaman Mendesain Buku (3 tahun terakhir)

1. Dasar-Dasar Teknik Geospasial (2022).
2. Buku Panduan Guru Pendidikan Khusus bagi Peserta Didik Autis disertai Hambatan Intelektual (2022).
3. Parentime (2022).
4. Fatherman (2022).
5. Agar Ayah Enggak Masuk Neraka (2022).
6. Kolam Uang (2022).
7. Ilmu Bayan; Menyingkap Kekayaan Bahasa Arab Alquran (2022).
8. Buku Panduan Guru Informatika untuk SMA Kelas XI (2021).
9. Buku Panduan Guru Informatika untuk SMP Kelas IX (2021).
10. Main Instagram (2021).
11. Reseller Gendeng (2021).
12. Emak-Emak Jago Jualan (2021).
13. Tafsir Annisaa 1; Tafsir Alquran Surah Annisaa [4]:1-85 (2019).